

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ «ОКАТЫШ - ЛИГАТУРА» ДЛЯ ЭШП*

И.В. Чуманов, И.М. Ячиков, Е.А. Ворона

COMPUTER MODELLING OF PROCESSES THERMO-WEIGHT EXCHANGE AT RECEPTION OF COMBINED ELECTRODES «PELLET - LIGATURE» FOR ESR

I.V. Chumanov, I.M. Jachikov, E.A. Vorona

Разработан программный продукт, позволяющий моделировать процессы тепломассообмена при взаимодействии металлизированных окатышей и жидкой лигатуры заданного химического состава при формировании расходоуемых электродов для электрошлакового переплава.

Ключевые слова: металлизированные окатыши, лигатура, электрошлаковый переплав, моделирование, диффузия.

The software product is developed, allowing to model of processes thermo-weight exchange at interaction of iron-rich pellets and liquid ligature the set chemical compound at formation of spent electrodes for electroslag refining process.

Keywords: iron-rich pellets, ligature, electroslag refining process, modeling, diffusion.

Одним из вариантов получения расходоуемых электродов для электрошлакового переплава (ЭШП) является формирование комбинированных электродов с использованием металлизированных окатышей (МО) и жидкой лигатуры методом их одновременной подачи в специальную изложницу [1]. Использование электродов со значительной долей МО позволит получить металл после ЭШП с низким процентным содержанием фосфора и примесей цветных металлов, а также снизить его себестоимость [2].

В данной работе рассмотрены вопросы, связанные с компьютерным моделированием процессов тепломассообмена, протекающих при получении комбинированных расходоуемых электродов с использованием металлизированных окатышей и жидкой лигатуры заданного химического состава.

При получении комбинированных электродов «окатыш - лигатура» необходимо соблюдать достаточно жесткие требования к температурным режимам, массовому соотношению металлизированных окатышей и жидкой лигатуры для обеспечения равномерного распределения компонентов по сечению и химической однородности слитка [3].

С одной стороны, лигатура должна доводить химический состав до заданного для получаемого расходоуемого электрода, поэтому особенность

теплового взаимодействия металлизированных окатышей с жидким металлом заключается в том, что химический состав МО отличается от химического состава жидкой лигатуры. С другой стороны, при большой доле холодных окатышей происходит переохлаждение конгломерата и в результате электрод имеет недостаточную прочность.

Для изучения тепломассообменных процессов при взаимодействии металлизированных окатышей и жидкого расплава была разработана математическая модель, позволяющая определить оптимальные технологические параметры формирования комбинированных расходоуемых электродов для ЭШП с использованием МО и жидкой лигатуры заданного химического состава.

При построении математической модели был принят ряд допущений и ограничений:

1) МО имеет сферическую форму. Каждый окатыш в расплаве окружает сферическое тело радиуса R , заполненное жидким расплавом металла с центром, совпадающим с центром МО [4];

2) в сферической системе координат, связанной с центром окатыша, температурные и концентрационные поля - осесимметричные;

3) металлизированный окатыш не взаимодействует с другими МО, а участвует в тепломассообменных процессах с покрывающим его расплавом;

* НИР проведена в рамках реализации АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» на 2009-2010 гг. (№ 2.1.2./207), а также поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (государственный контракт № П874 от 18.08.2009).

причем данная элементарная ячейка упаковки является адиабатной;

4) тепло распространяется за счет теплопроводности, массоперенос происходит за счет диффузии, влияние вынужденной и свободной конвекции не учитывается;

5) теплофизические свойства твердой и жидкой фаз, коэффициенты диффузии легирующих химических элементов в железе постоянные;

6) при взаимодействии МО с расплавом не выделяется и не поглощается тепло, жидкий металл не проникает в поры, а теплофизические свойства окатышей характеризуются средними показателями.

На основе разработанной математической модели создана компьютерная программа «Взаимодействие МО с расплавом» с использованием среды разработки VBA MS Excel.

Программный продукт работает с привычным для многих пользователей пакетом Excel. После загрузки файла «Взаимодействие МО с расплавом.XIS» на экране появляется заставка главного меню, представленная на рис. 1, а. Для начала расчета необходимо осуществить ввод данных с использованием формы, приведенной на рис. 1, б. Все вводимые данные разделены на 5 групп. При использовании кнопки «Контроль исходных данных» можно провести проверку корректности ввода исходных данных. Для каждой группы данных открывается индивидуальное окно (рис. 2).

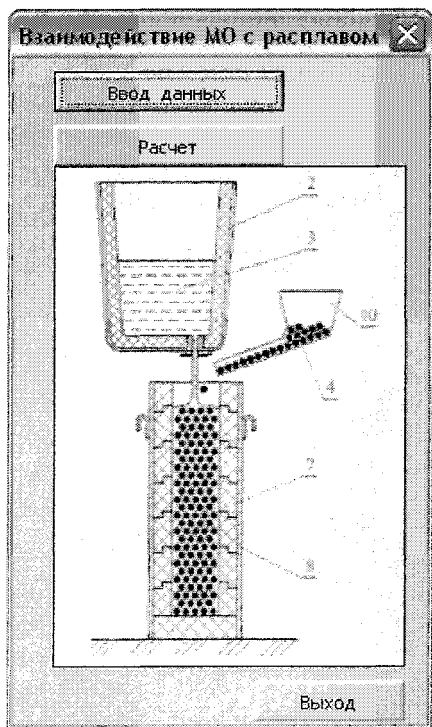
При выборе вкладки «По умолчанию» задаются исходные данные контрольного примера. С

помощью кнопки «Принять» введенные исходные данные сохраняются для расчета и происходит возврат в окно «Ввод данных» и далее можно перейти в окно «Взаимодействие МО с расплавом», где становится доступной кнопка «Расчет».

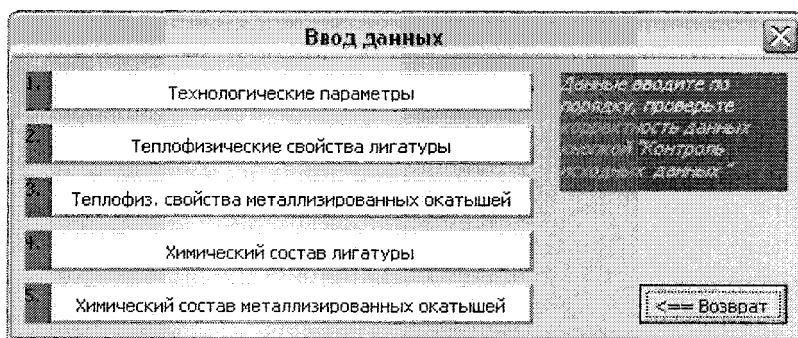
После ее нажатия попадаем на рабочий лист «Расчет температур» (рис. 3, а) где задается шаг по времени и конечное время и производится соответствующий расчет. В любой момент времени можно перейти на рабочие листы «Расчет концентрации углерода» (рис. 3, б) и «Расчет доли твердой фазы» (рис. 3, в). Они аналогичны форме вывода температурного поля, где в табличном и графическом виде приведено нестационарное распределение по радиусу концентрации углерода и доли твердой фазы.

Результаты расчетов сравнивались с экспериментальными данными роста температуры в центре металлизированного окатыша от времени при его погружении в чугуна с температурой 1250... 1400 °С [5]. Полученная средняя относительная ошибка отклонения экспериментальных данных от расчетных составила не более 8 %, что позволяет говорить об адекватности математической модели для расчета теплового состояния при взаимодействии МО с расплавом. Была проведена адаптация созданной математической модели.

Таким образом, разработанный программный продукт «Взаимодействие МО с расплавом» позволяет определять динамику процесса намораживания и расплавления слоя металла на поверхности окатышей; рассчитать нестационарное распре-



а)



б)

Рис. 1. Интерфейс программного продукта «Взаимодействие МО с расплавом»: а – главная форма программы; б – окно «Ввод данных»

Технологические параметры

1. Диаметр metallизированных окатышей	10	мм
2. Температура жидкой лигатуры	1650	град С
3. Начальная температура metallизированных окатышей	500	град С
4. Массовое соотношение МО и жидкого расплава	1,0	

а)

Теплофизические свойства лигатуры

1. Плотность жидкого металла	7000	кг/м куб
2. Плотность твердого металла	7200	кг/м куб
3. Теплоемкость жидкого металла	585	Дж/(кг К)
4. Теплоемкость твердого металла	600	Дж/(кг К)
5. Коэффициент теплопроводности жидкого металла	46,5	Вт/(м К)
6. Коэффициент теплопроводности твердого металла	40	Вт/(м К)
7. Теплота плавления	2,65E5	Дж/(кг)

б)

Теплофизические свойства МО

1. Средняя плотность	4000	кг/м куб
2. Средняя теплоемкость	300	Дж/(кг К)
3. Эффективный коэффициент теплопроводности	6	Вт/(м К)
4. Коэффициент диффузии углерода в железе	3,0E-4	см. кв/с
5. Коэффициент диффузии кремния в железе	2,5E-4	см. кв/с
6. Коэффициент диффузии марганца в железе	2,0E-4	см. кв/с

в)

Химический состав лигатуры

Содержание	%	Содержание	%
Углерода [C]	1,25	Фосфора [P]	0,025
Кремния [Si]	0,5	Хрома [Cr]	23,5
Марганца [Mn]	0,5	Ванадия [V]	0,4
Серы [S]	0,025	Молибдена [Mo]	1,0

г)

Химический состав МО

Содержание	%	Содержание	%
Углерода [C]	1,7	Серы [S]	0,004
Кремния [Si]	0	Фосфора [P]	0,011
Марганца [Mn]	0	Медь [Cu]	0,006

д)

Рис. 2. Интерфейс форм ввода данных: а – «Технологические параметры»; б – «Теплофизические свойства лигатуры»; в – «Теплофизические свойства МО»; г – «Химический состав лигатуры»; д – «Химический состав МО»

деление температуры по радиусу МО и в слое металла, прилегающего к нему; рассчитать динамику диффузии углерода, кремния и марганца в глубь металлизированного окатыша и его расплавление с учетом текущего химического состояния.

Литература

1. Пат. 2233895 Российская Федерация, МПК⁷ С 22 В 9/18, Н 05 В 7/07. Способ получения расходуемых электродов / В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин, В.В. Вотинов. - № 2003108193/02; заявл. 24.03.03; опубл. 10.08.04, Бюл. № 22.

2. Чуманов, И.В. Анализ способов получения расходуемых электродов для ЭШП с использованием металлизированных окатышей и жидкой лигатуры/И.В. Чуманов, Е.А. Ворона// Вестник

ЮУрГУ. Серия «Металлургия». — 2008. - Вып. 11. - № 24(124). - С. 24-27.

3. Ворона, Е.А. О возможности получения расходуемых электродов для электрошлакового переплава с использованием металлизированных окатышей. Часть I/Е.А. Ворона, И.В. Чуманов // Электromеталлургия. — 2009. — № 9. — С. 15—20.

4. Теплофизические процессы, протекающие при формировании расходуемых электродов из металлизированных окатышей / В. И. Чуманов, В.И. Потапов, И.В. Чуманов, В.В. Вотинов// Известия вузов. Черная металлургия. — 2005. - № 11. —С. 14-17.

5. Омивале, А.М. К вопросу использования металлизированных окатышей в кислородных конвертерах / А.М. Омивале, А.Ф. Вишкарёв, В.П. Григорьев // Известия вузов. Черная металлургия. - 1989. -№11.-С. 43-46.

Поступила в редакцию 6 июля 2010 г.