



УДК 621.365.23

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ОБЪЕМЕ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ФЕРРОСПЛАВНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

В.И.Нежури¹, В.Ю.Куваев², М.Ю.Каряка³

¹кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электропривода, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

²старший преподаватель кафедры электротехники и электропривода, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

³ассистент кафедры электротехники и электропривода, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: karyakamariya@gmail.com

Аннотация. В работе проведено теоретическое исследование распределения энергии в рабочем пространстве ферросплавной электропечи, которое обеспечивает оптимизацию проектирования и реконструкции печей.

Ключевые слова: ферросплавная электропечь, математическая модель, метод вторичных источников, распределение энергии.

SIMULATION OF ENERGY DISTRIBUTION IN VOLUME OF WORKING SPACE OF FERROALLOYS FURNACE

Vadim Neshurin¹, Viktor Kuvae², Maria Karyaka³

¹Ph.D. in engineering sciences, associate professor of electrical engineering and electromechanic department, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine

²Senior lecturer of electrical engineering and electromechanic department, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine

³Assistant of electrical engineering and electromechanic department, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: karyakamariya@gmail.com

Abstract. Conducted theoretical research of distributing energy in working space of ferroalloys furnace, that provides improvement of elaboration and reconstruction of furnaces.

Keywords: ferroalloys furnace, mathematical model, method of the second brooks, distributing energy.

Введение. Опыт эксплуатации ферросплавных электропечей (ФП) показывает, что поддержание оптимального шихтового, электродного и электрического режимов конкретного технологического процесса является основой достижения максимальной технико-экономической эффективности выплавки сплава.

Решение этой задачи обеспечивается выбором оптимальных геомет-





рических параметров ванны печи; печного контура и поддержанием рационального электрического режима плавки, что создает, требуемое с точки зрения термодинамики, распределение энергии, вводимой в рабочее пространство ванны печи.

Данные о распределении активной мощности, плотности тока, потенциалов и температур в объеме рабочего пространства ванны получены в результате инструментальных исследований действующих печей [1, 2], что дало возможность сформировать картину строения рабочего пространства ванны печи при выплавке разных сплавов и решить ряд задач по оптимизации их выплавки. Результаты исследований позволили разработать обобщенную схему замещения электрической цепи ФП, что обеспечило возможность эффективного управления электрическим и технологическим режимами работы печи с использованием АСУ ТП [2].

Известен также ряд математических моделей распределения энергии в объеме ванны, позволяющих прогнозировать его для осваиваемых и проектируемых электропечей.

Авторами решалась задача разработки математической модели распределения плотности тока в сечении самообжигающегося электрода и удельной активной мощности в объеме рабочего пространства ванны ФП по методу вторичных источников в форме интегральных уравнений Фредгольма II рода с привлечением экспериментальных данных действующих печей [3].

Цель работы. Преимущество метода вторичных источников состоит в возможности построения эффективных численных алгоритмов расчета полей, ориентированных на применение современной вычислительной техники и пригодных для неоднородных сред и сложных форм границ раздела сред. Предложенная методика моделирования распределения энергии в ванне печи позволяет полнее решать задачи проектирования, реконструкции и рациональной эксплуатации шлаковых ферросплавных электропечей.

Материал и результаты исследований. Структура реакционной зоны рабочего пространства круглой трехэлектродной ФП, выплавляющей силикомарганец, модель которой была разработана, симметрична оси каждого электрода. Исходя из условий осевой симметрии, рассматривалось меридиальное сечение электрода и реакционной зоны с подводом тока через сверхпроводящий контакт электрода, находящегося в неоднородной среде, и отводом через сверхпроводящую ванну сплава.

При построении модели принимались следующие допущения:

1. Ванна круглая с тремя круглыми симметрично расположенными электродами.



2. Объем шихтовых материалов ванны состоит из реакционной зоны с проводимостями γ_5 и γ_6 , и объема ванны с проводимостями γ_3 и γ_4 .

3. Жидкий расплав (поверхность S_5) и поверхности S_1, S_2, S_3, S_4 сверхпроводящие ($\gamma = \infty$).

4. Electrodes состоят из двух зон с проводимостями γ_1 и γ_2 (рис. 1а).

5. Дуговой разряд не учитывался, поскольку технологический процесс выплавки силикомарганца является шлаковым; жидкий токопроводящий шлак шунтирует дуговой промежуток, вследствие чего на долю дугового разряда приходится не более 10 % энергии выделяемой в ванне печи.

6. Правая цилиндрическая система координат имеет начало в центре ванны на уровне колошника.

7. Ввиду незначительного влияния поверхностного эффекта магнитное поле не учитывалось.

С учетом принятых допущений и условий разработанная модель представлена на рис. 1а.

Алгоритм расчета поля плотности тока и удельной активной мощности следующий:

1. Рассчитывается распределение вторичных источников на поверхности раздела сред с разной проводимостью $\gamma_1 - \gamma_6$.

2. По распределению вторичных источников рассчитывается напряженность поля в выбранных точках сечения электрода и рабочего пространства ванны печи.

3. Рассчитывается плотность тока (j_i) и удельная активная мощность в выбранных точках рабочего пространства ванны печи $j = \gamma_i E_i$ и $p_i = \gamma_i E_i^2$.

На рисунке 1б представлены результаты математического моделирования распределения энергии в рабочем пространстве ванны круглой силикомарганцевой печи типа РКГ-75 со следующими параметрами: активная составляющая тока электрода $I_{a3}=100$ кА; диаметр ванны печи $D_B=12600$ мм; высота шихтовых материалов $H_B=3500$ мм; диаметр распада электродов $D_p=5600$ мм; диаметр электрода $D_3=2000$ мм; для полусферической формы торца электрода и глубины его погружения в ванну печи 1 м, а также кривые распределения плотности тока в сечении электрода и линии равной удельной активной мощности в рабочем пространстве в предположении, что мощность сосредоточена в центре выбранных элементарных площадок сечения ванны.

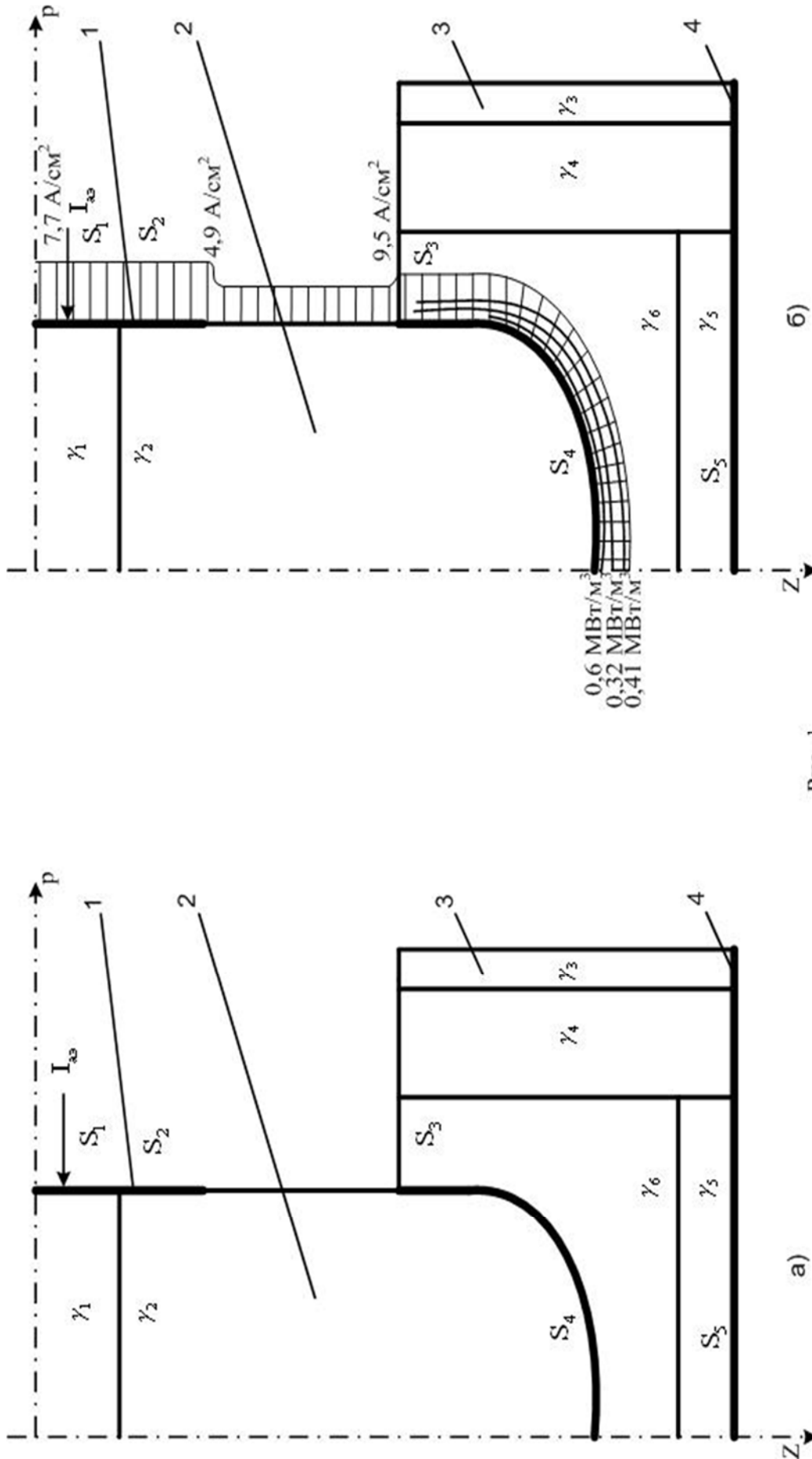


Рис. 1

а - расчетная математическая модель распределения мощности в ванне ФП

б - математическая модель распределения энергии в ванне печи РКГ-75

(1 - кольцо электродержателя, 2 - самообжигающийся электрод,

3- рабочее пространство печи с зонами неоднородности, 4 – сплав (силикомарганец)



Результаты моделирования проверены на адекватность на электролитической ванне печи РКГ-75, где выполнялось соотношение проводимостей зон неоднородности и геометрии ванны в соответствии с критериями теории подобия. Потенциалы точек объема ванны измерялись методом двойного зонда, после чего рассчитывалась активная мощность в каждом элементарном объеме ванны.

Анализ полученных результатов показывает, что значение удельных активных мощностей в выделенных точках, полученные расчетным и экспериментальным путем и представленные в относительных единицах, совпадают с инженерной точностью.

Выводы. Практическое использование предлагаемой модели при расчете параметров проектируемой или реконструируемой ферросплавной печи выглядит следующим образом:

1. Определение основных электрических и геометрических параметров печи с помощью известных инженерных методов расчета.
2. Расчет математической модели проектируемой печи для выявления оптимальной геометрии ванны, распределения мощности в объеме ванны печи и нахождения оптимального значения диаметра распада электрода и глубины погружения электрода. Критерием оптимальности служат известные соотношения рудной электротермии.
3. Уточнение предварительных проектных геометрических параметров ферросплавной печи на основе результатов моделирования.

Для действующих ФП предлагаемой модели может быть использована для совершенствования системы управления технологическим процессом выплавки ферросплавов в случае непрерывного контроля распределения энергии в ванне печи для различных значений посадки электродов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карманов Э.С. Исследование скорости и характера схода шихтовых материалов при выплавке марганцевых сплавов в закрытых руднотермических электропечах / Э.С. Карманов, В.И. Нежурин // *Сталь*, 1991. - № 7. – С. 37-40.
2. Кузьменко С.Н. Определение параметров и характеристик элементов схем замещения ванн рудовосстановительных электропечей / С.Н. Кузьменко, А.В. Николенко // *Сталь*, 2005. - N12 - С. 35-38.
3. Ольдзиевский С.А. Математическое моделирование электрических полей печей рудной электротермии / С.А. Ольдзиевский, В.А. Кравченко, В.И. Нежурин, И.А. Борисенко // . – М. – *Металлургия*. – 1990. – 112 с.