AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОЛЯ САМОСПЕКАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРОДОВ РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

ВЛАДИМИР ХАЦЕВСКИЙ, Д.Т.Н.,
ГОНЕНКО ТАТЬЯНА, К.Т.Н.,
КОНСТАНТИН ХАЦЕВСКИЙ, К.Т.Н.

Павлодарский Государственный
Университет им. С.Торайгырова,
Казахстан

Title: *QUASISTATIONARY THERMAL FIELDS OF SELF-SINTERING ELECTRODES IN ORE-SMELTING FURNACE*

UDC: 621.365.22

Key words: Ore-smelting furnace, self-sintering electrodes, aggregate zone, quasistationary thermal fields

Annotation: The paper studies conditions to increase performance efficiency for the ore-smelting electrothermal furnaces. Theoretical and experimental researches provide recommendations on technical requirements to the electrodes' exploitation regime to achieve optimal performance of ore-smelting furnace.

Существенным ограничивающим фактором длительной эксплуатации рудовосстановительной электропечи (РВП) на пониженных мощностях являются эксплуатационные характеристики самоспекающихся электродов. Координатно-пространственное распределение температуры и расположение агрегатных зон в электроде (зоны коксования электродной массы) определяют качество рабочего торца электрода, его механическую прочность, условия эксплуатации контактных щек и возможность возникновения аварий при обрыве электрода и выходе электродной массы в рабочее пространство электропечи.

В основе безаварийной эксплуатации электродов лежат два взаимосвязанных комплексных процесса, интегральные характеристики которых выражаются в квазистационарных тепловых полях электродов (положение изотермы коксования электродной массы относительно щек) и перемещении электродов по осевой координате при их перепусках, характеризующих расход электродов во времени. В номинальных режимах обеспечивается равенство скоростей коксования электродов и расхода электродов, а перепуск электродов осуществляется на длину электрода, равную перемещению координат зоны коксования за периоды времени между перепусками электродов. Изменение вводимой мощности в электропечь переводит электрод в нестационарные тепловые режимы, т. к. изменяет энергетические составляющие теплового баланса электрода (тепловой поток по оси электрода в зону коксования от рабочего торца - реакционной области: контактный узел - кожух электрода - скоксовывающийся электрод - газоплазменная и реакционная области).

Суммарное действие обеих факторов не позволяет их разделить и изучить нестационарные режимы при экспериментальных исследованиях тепловых полей электродов в процессе перехода от номинальной мощности к пониженной. Для изучения этой проблемы использовалась разработанная ВНИИЭТО математическая модель, позволяющая рассчитывать нестационарные температурные поля самоспекающихся электродов РВП. Для повышения точности и достоверности при проведении расчетов (предаварийных режимов) кожух электрода и связанные с ним ребра выделялись в отдельный расчетный токонесущий слой с изменяющимися свойствами (область конечной магнитной проницаемости до точки Кюри, T = 736°C; температура завершения окисления и снижения механических свойств стали кожуха, T = 900 °C; выгорания ребер, T = 1150°C).

Нестационарное уравнение теплопроводности рассматривалось как стационарное с введением скорости (V) перемещения изотермы T = 450 °C (начало коксования электродной массы) относительно контактных щек:

$$\Delta Q_{i,\kappa+1} + \Delta Q_{i,\kappa-1} + \Delta Q_{i+1,\kappa} + \Delta Q_{i-1,\kappa} + \\ + \Delta Q_{дж} + V \cdot c\gamma F\left(T_{i,\kappa+1} - T_{i,\kappa}\right) = 0, \qquad (1)$$

где $\Delta Q_{i\pm1,\kappa\pm1}$ - количество тепла, поступившего в расчетный элемент в направлениях $i \pm 1$, $\kappa \pm 1$; $\Delta Q_{дж}$ – джоулево тепло в i, κ - том элементе; V - скорость перемещения изотермы относительно щек; γ, c – плотность и теплоемкость; F - площадь сечения элемента, T - температура.

Температуры определялись по выражению

$$T_{i,k}^{n+1} = \left[\Sigma q^n + \Delta Q_{дж}^n + \left(V \cdot c\gamma F\right)^n T_{i,k+1}^n\right] / \\ / \Sigma\rho^n + \left(V \cdot c\gamma F\right)^n, \qquad (2)$$

где n - номер итерации;

$$\Sigma q^n = T_{i+1,k}^n \cdot \rho_{i+1,k}^n + T_{i,k+1}^n \cdot \rho_{i,k+1}^n + \\ + T_{i-1,k}^n \cdot \rho_{i-1,k}^n + T_{i,k-1}^n \cdot \rho_{i,k-1}^n;$$

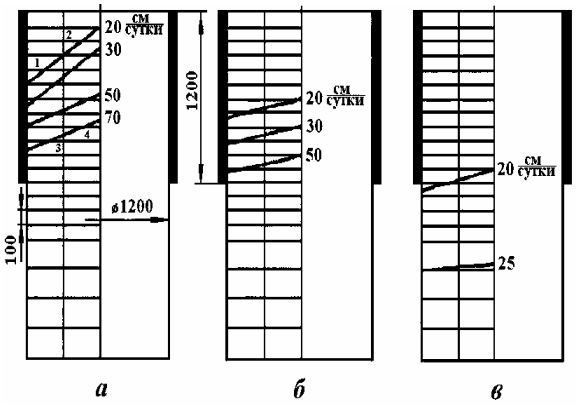
$$\Sigma\rho^n = \rho^n_{i+1,k} + \rho^n_{i-1,k} + \rho^n_{i,k+1} + \rho^n_{i,k-1}.$$

Зависимость тепловых проводимостей ρ от температуры учитывалась путем введения коэффициента релаксации (сходности) – ψ:

$$T^{n+1}_{i,k} = T^n_{i,k} + \psi\left(\frac{\Sigma q^n + \Delta Q_{дж} + (V\cdot c\gamma F)^n T^n_{i,k+1}}{\Sigma\rho^n + (V\cdot c\gamma F)^n} - T^n_{i,k}\right) \quad (3)$$

На Рисунке 1 показано расположение изотерм T = 450°С при различных значениях тока и линейной скорости перемещения электрода одновременно с зоной коксования, а на Рисунке 2 приведена обобщенная относительная характеристика линейной скорости перемещения изотермы начала коксования ($\Delta z/\Delta t$) относительно скорости расхода электрода (z/dt) - средняя

РИСУНОК 1 РАСПОЛОЖЕНИЕ ЗОНЫ КОКСОВАНИЯ (450° С) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ЛИНЕЙНОГО РАСХОДА И ПЛОТНОСТИ ТОКА В САМОСПЕКАЮЩЕМСЯ ЭЛЕКТРОДЕ:
а – при j = 6 А/см^2 (I = 68000 А);
б – при j = 4 А/см^2 (I = 45000 А);
в – при j = 2,65 А/см^2 (I = 30000 А)

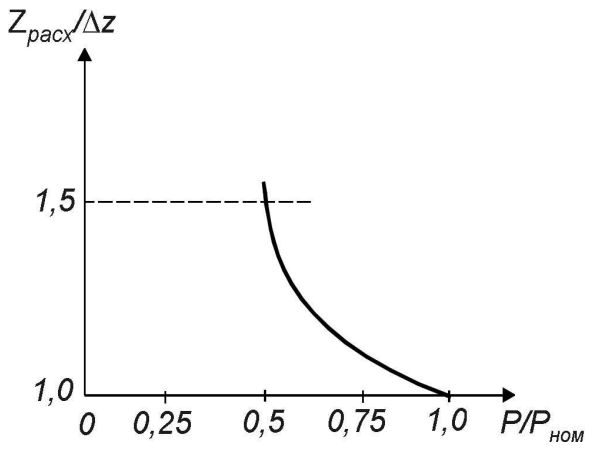


скорость перепуска электрода от $P/P_{ном}$ – вводимой мощности. Установлено, что при снижении рабочего тока на 35 % линейная скорость расхода электрода в 1.2 раза превышает линейную скорость перемещения изотермы начала коксования электрода.

Проведенные исследования позволили сформировать следующие ориентировочные технические требования к режимам эксплуатации электродов: ограничить снижение мощности до значений $P/P_{ном}$ = 0.5 … 0.75, время эксплуатации при пониженной мощности ограничить тремя часами ($P/P_{ном}$ = 0.5); рекомендовать перевод на пониженную мощность сразу после очередного перепуска электродов, уменьшить линейную величину перепуска электрода с увеличением количества перепусков в рассматриваемый период эксплуатации электропечей. При этом приведенные рекомендации необходимо уточнять при разработке технологических инструкций на конкретную электропечь с учетом среднестатистического значения расхода электродов, качества шихтовых материалов, рабочего тока, проводимой технологии и т.д. с проведением оценочных расчетов по разработанной методике.

Для оценки соответствия результатов расчетов по модели реальным процессам, происходящим в электроде, проведены экспериментальные исследования тепловых полей самоспекающихся электродов диаметром 1200 мм (выплавка FeSi) с использованием трех перемещающихся совместно с электродом термопар: средний рабочий ток 94.5 кА; коэффициент неравномерности токораспределения по щекам $K_c = I_{наруж}/I_{внутр}$ = 0.95. Установлено, что в зоне контактных щек ток протекает по обечайке кожуха с последующим переходом в ребра. У нижнего края щек происходит усадка электрода (≈ 1.5 %), появляется зазор между кожухом и

РИСУНОК 2. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ РАСХОДА ЭЛЕКТРОДА И КОКСОВАНИЯ ОТ ВВОДИМОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОПЕЧЬ



скоксованным блоком, ток протекает по ребрам и электроду. В работе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований температурных полей самоспекающихся электродов, описан метод расчета симметрирования изотерм с выравниванием температур области электрода, обращенной к центру печи, и наружной области электрода путем перераспределения тока по щекам. Показано, что при недостаточном заглублении электродов увеличиваются тепловые потери и улет реагентов из печи, зарастает колошник и уменьшается проходное сечение газохода, снижается производительность и КПД печи. При заглублении электродов увеличивается реактивное

сопротивление ванны, перегревается металл и подина печи. Проведены оценки изменения температурного поля по глубине ванны при снижении вводимой мощности в электропечь. Полученные результаты позволили ввести в разработанные инструктивные материалы ограничивающие факторы, обеспечивающие безаварийную эксплуатацию электропечей в оптимальных режимах с различными значениями мощностей.

Литература

Хацевский, В., 2001. Нестационарные режимы работы рудовосстановительных электропечей, Павлодар, НПФ "ЭКО".

Хацевский, В., Чередниченко, В., 2002. «Проблемы ресурсосбережения при эксплуатации рудовосстановительных электропечей», Сборник научных трудов НГТУ "Экологически перспективные системы и технологии. Ресурсосбережение", Выпуск 5, с. 74-86.