

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ СТАЛИ ПРИ КОВШЕВОМ ВАКУУМИРОВАНИИ

З.К. Кабаков, П.З. Кабаков

К одному из способов внепечной обработки стали относится вакуумирование. При вакуумировании происходят взаимосвязанные процессы теплообмена, химических реакций, выделения газов, формирования газовой смеси в вакуумной камере и др. (рис.1).

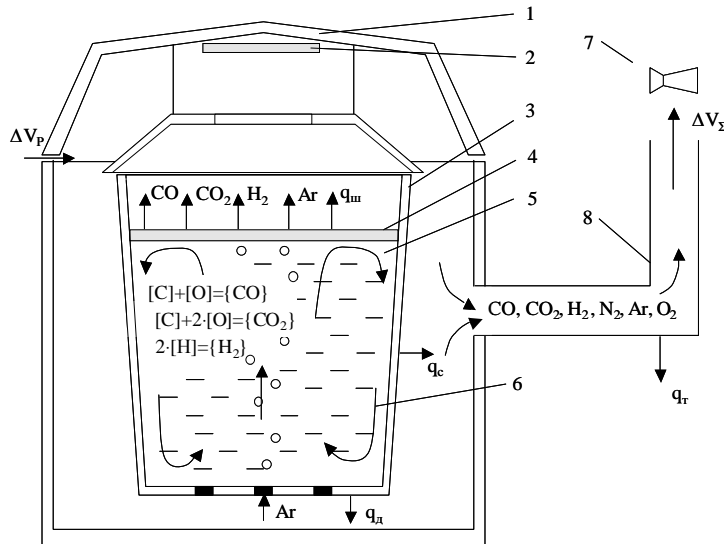


Рис.1. Схема агрегата и физико-химических процессов: 1- камера УВС; 2 - водоохлаждаемая панель; 3 - ковш; 4 - шлак; 5 - жидкая сталь; 6 - контура циркуляции; 7 - парэжекторный насос; 8 - газоотводящий тракт; ΔV_p - объем воздуха, поступающий через неплотности; ΔV_Σ - объем газовой смеси, откачиваемой насосом; $q_{ш}$, q_c , q_d , q_t - потоки тепла от шлака, стенки и дна ковша, трубы газоотводящего тракта, соответственно.

При разработке технологии производства стали с использованием вакуумирования применяют расчетно-теоретические и экспериментальные методы. При этом рассматривают основные элементы процесса по отдельности. Оценивают возможности реакции взаимодействия углерода и кислорода в зависимости от давления в камере агрегата, снижение температуры металла в ковше при обработке, распределение кислорода между металлом и шлаком, определяют условия для обеспечения оптимального состава шлака по результатам экспериментов и др. В результате получают приближенные решения без учета взаимосвязи элементов и динамики процесса.

При таком подходе не учитывается тот факт что, любой металлургический технологический процесс - это система, состоящая из взаимодействующих между собой элементов (подпроцессов). Поэтому освоение технологии выполняется в течение длительного периода методом проб и ошибок на большом количестве опытных плавов.

В настоящее время продолжается освоение новых марок сталей с ультранизким содержанием углерода, водорода и азота. Для сокращения затрат на эмпирическое освоение технологии вакуумирования необходимы новые подходы к построению математической модели, которая позволила бы рассматривать процесс вакуумирования во всей его сложности, характерной для реального объекта.

В данной работе при создании математической модели процесса обработки плавки на установке вакуумирования стали (УВС) использован системный подход, выделены основные процессы и подпроцессы, установлена их взаимосвязь. Разработано математическое описание процессов теплообмена, взаимодействия углерода с кислородом металла и шлака, удаления газов, формирования количества, состава и давления газовой смеси в камере УВС. При описании процесса взаимодействия углерода и кислорода применен принцип аддитивности [1, 2]. Дифференциальные уравнения теплообмена в жидкой стали и ковше решены с использованием метода конечных разностей и алгоритмического языка программирования Borland Delphi. Выполнено тестирование алгоритмов решения дифференциальных уравнений и адаптация процессов теплопроводности, перемешивания металла в ковше при продувке аргоном, обезуглероживания и удаления продуктов реакций, формирования газовой смеси в камере УВС. Модель прошла проверку адекватности на основе экспериментальных данных, полученных в промышленных условиях, в т.ч. по

динамике состава отходящих газов. На рис.2 приведены экспериментальные данные и результаты моделирования по составу отходящих газов. Как видно на рис.2, результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными. Наблюдаемое различие в интервале 0-400с объясняется техническими особенностями работы газоанализатора УВС.

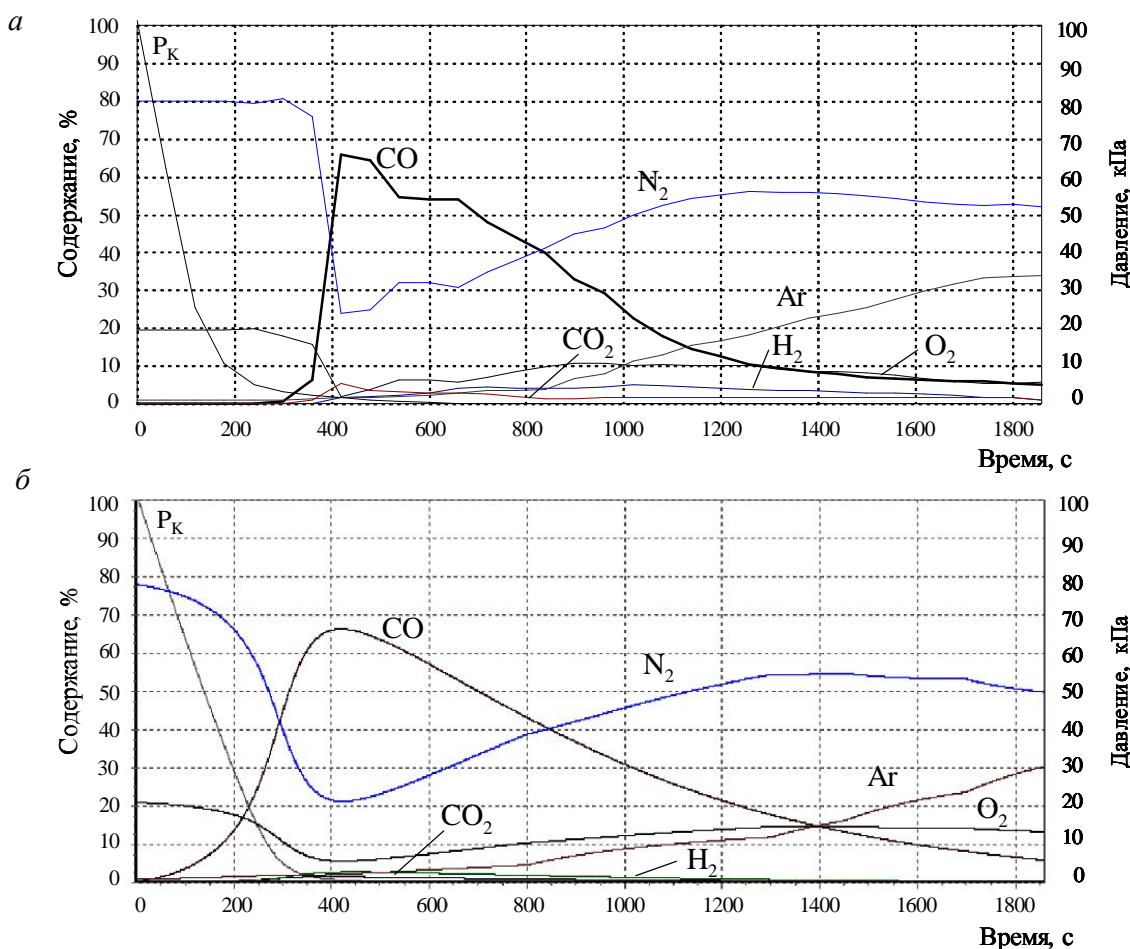


Рис.2. Изменение состава газовой смеси в процессе вакуумирования: *а* – при обработке экспериментальной плавки; *б* – результаты моделирования.

С помощью модели исследованы и уточнены различные закономерности вышеуказанных процессов, разработаны рекомендации по совершенствованию технологии.

Созданная модель имитирует процесс обработки металла на УВС в целом с учетом взаимосвязи и динамики основных процессов, в связи с чем, возможно, ее многофункциональное использование для исследования тепломассообменных процессов и обобщения имеющихся знаний в этой области, разработки и совершенствования технологии обработки металла вакуумом для ковшевых УВС различной емкости, для обучения студентов и повышения квалификации производственного персонала металлургических предприятий.

Список литературы:

1. Решение задачи обезуглероживания стали в ковше при вакуумировании / З.К. Кабаков, П.З. Кабаков // Известия вузов. Чер.мет. – 2004. - №5. – с. 15-16.
2. З.К. Кабаков, П.З. Кабаков, С.Н. Сумин. Применение принципа аддитивности к математическому описанию процесса обезуглероживания при вакуумировании // Моделирование, оптимизация и интенсификация производственных процессов и систем: материалы Международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ. – 2004, с. 57-59.