

Д. Т. Н. Г. В. Воронов (✉), М. В. Антропов, И. В. Глухов

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 669.187.2:621.365.2]:662.612.321/322

ГАЗОДИНАМИКА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СОВРЕМЕННОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Представлены результаты анализа движения газовых потоков, создаваемых топливосжигающими устройствами на действующих дуговых сталеплавильных печах, и сформулированы рекомендации по рациональной схеме установки горелок. Контролируемое кольцевое движение аэродинамических потоков в зоне рабочего пространства между стенкой и электродами способствует повышению конвективного теплообмена с твердой холодной шихтой, созданию надежного и равномерного гарнисажного слоя на водоохлаждаемой стенке и снижению осаждения плавильной пыли на электродах. Расчетное исследование выполнено с использованием программы SolidWorks Flow simulation при действительных граничных условиях.

Ключевые слова: газодинамика, дуговая сталеплавильная печь (ДСП), топливосжигающие устройства (ТСУ), газовый поток, программа SolidWorks Flow simulation.

Улучшение газодинамики рабочего пространства современной дуговой сталеплавильной печи (ДСП) для обеспечения условий эффективного теплообмена, а также быстрого и равномерного нагрева шихты на всей поверхности ванны является технически сложной задачей. Практика эксплуатации ДСП показывает, что поиск оптимального размещения топливосжигающих устройств (ТСУ) идет эмпирическим путем. Необходимые изменения вносят уже в промышленные образцы, а целесообразность предпринимаемых шагов оценивают по результатам их эксплуатации. Возможность реализации новых идей на действующем объекте всегда ограничена, а организация экспериментальных исследований требует больших затрат времени на подготовку и согласование необходимых работ. В настоящей работе соответствующее исследование проводили с применением средств компьютерного моделирования и инженерного анализа.

В работе использовали 3D-модель печи (рис. 1), которая была предварительно получена в чертежно-графическом редакторе системы КОМПАС-3D, а затем импортирована в приложение программы SolidWorks Flow simulation для расчета газодинамики рабочего пространства. К рассмотрению предложены модели, различающиеся размещением горелочных устройств. В первой модели ТСУ расположены в соответствии с проектом фирмы «Danieli» (ва-

риант А), во второй — исходя из рекомендации [1] по результатам графического анализа схемы распространения газовых потоков внутри печи (вариант Б). Входными параметрами модели выбраны скорость газокислородной смеси на выходе из горелочного сопла и балансовая температура горения. Начальная скорость смеси была определена расчетом по фактическому расходу природного газа и кислорода, балансовая температура продуктов сгорания — исходя из результатов расчета горения природного газа с кислородом. В качестве выходного параметра модели заданы давление перед входом в газоотводящий канал и температура уходящих газов. Согласно статистическим данным [2], на выходе модели были приняты разрежение 50 Па и температура уходящих газов 1600 °С. Эти параметры, а также граничные условия, используемые для расчета двух моделей, оставались неизменными. На рис. 2 показаны тра-

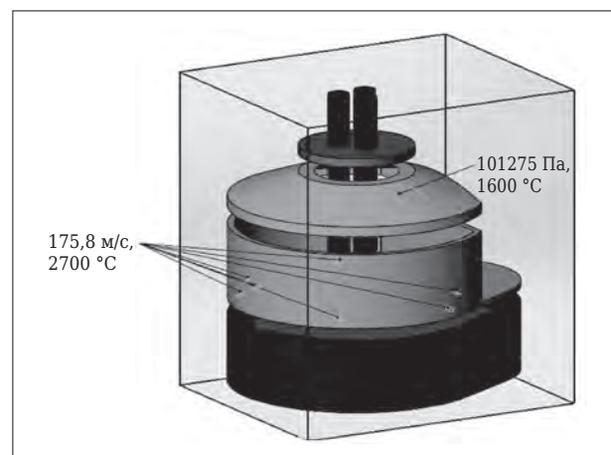


Рис. 1. Сборка модели ДСП в редакторе SolidWorks

✉
Г. В. Воронов
E-mail: dinari-sha@yandex.ru

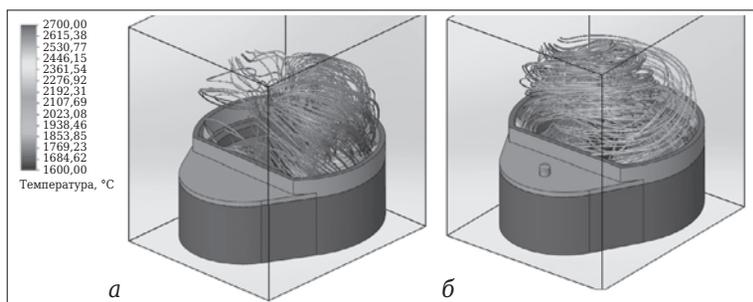


Рис. 2. Траектории движения газовых потоков в объеме рабочего пространства ДСП: а — по варианту фирмы «Danieli»; б — при рекомендованном размещении ТСУ

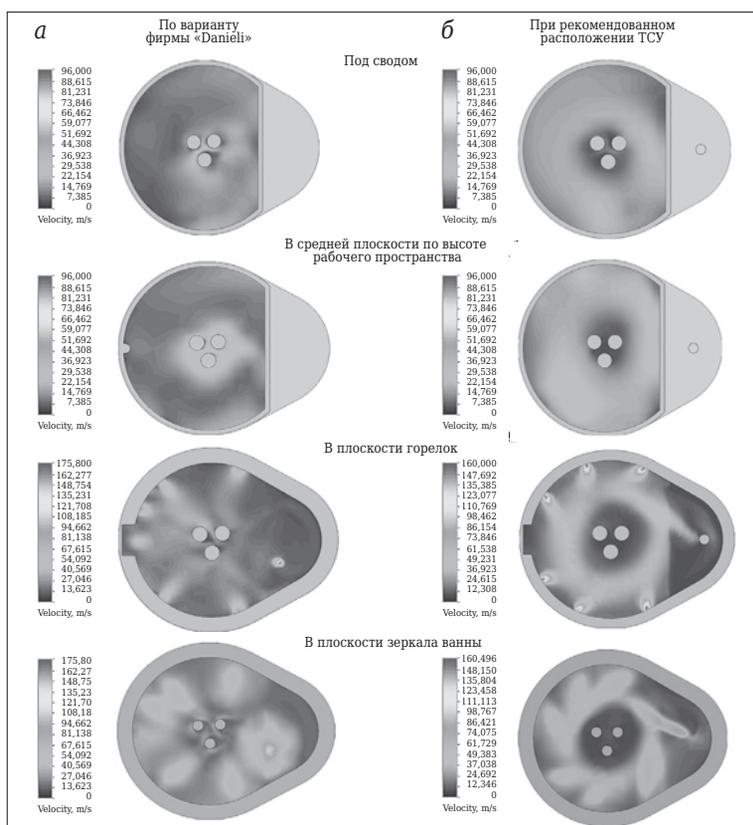


Рис. 3. Поле скорости в горизонтальном сечении рабочего пространства

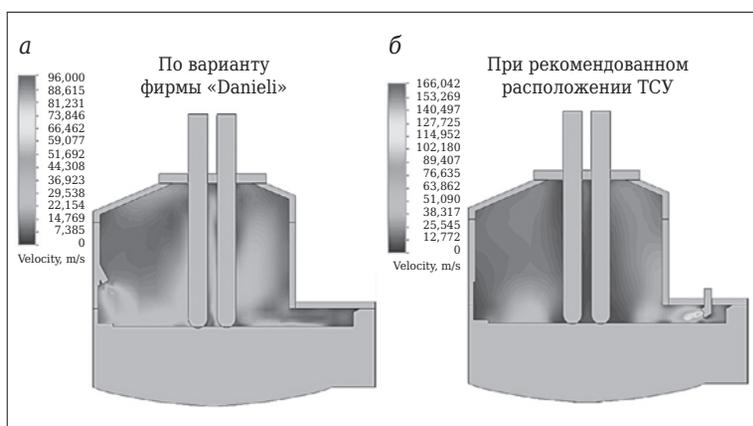


Рис. 4. Поле скорости в продольном осевом сечении печи

ектории распространения газовых потоков внутри рабочего пространства ДСП.

В случае размещения ТСУ по варианту фирмы «Danieli» наблюдается крайне неравномерное распределение продуктов горения. Отмечаются активное движение продуктов сгорания у технологического окна и практически отсутствие его в объеме печи, расположенном в районе эркера. Тангенциальное размещение ТСУ по предложенному варианту способствует организации равномерного рассредоточенного движения в рабочем пространстве газовых потоков.

На рис. 3 показаны скоростные поля газовых потоков в плоскости зеркала ванны, на уровне горелок, по центру высоты рабочего пространства и под сводом. На рис. 4 показано распространение газов в вертикальной плоскости рабочего пространства. В современной ДСП по варианту фирмы «Danieli» продукты горения распространяются радиально в направлении центра печи, достигая поверхности электродов, после чего меняют свое направление движения и уходят в подсводовое пространство. Циркуляция продуктов горения осуществляется в вертикальной плоскости, поэтому омываемая ими поверхность шихты невелика. Сохраняя большой запас тепла, продукты сгорания покидают рабочее пространство через газоотводящий канал. Размещение горелок с тангенциальным направлением факела вызывает горизонтальную циркуляцию продуктов горения у поверхности шихты (см. рис. 2, б). Обеспечивается круговое движение газов в периферийной области рабочего пространства (см. рис. 3), не допускается направленное воздействие потока продуктов горения на поверхность электродов (см. рис. 4). К моменту попадания в подсводовое пространство и канал дымоудаления они совершают до четырех циркуляционных оборотов, имея лучшие условия для передачи тепла шихте. Наиболее

интенсивное движение газов и высокие температуры сосредоточены в нижнем объеме печи у поверхности нагреваемой шихты (см. рис. 3, плоскость зеркала ванны).

В сравнении с вариантом фирмы «Danieli» предложенное расположение горелочных устройств выглядит более предпочтительным. В 2–3 раза увеличена кратность циркуляции газов в горизонтальной плоскости, обеспечены условия для эффективного теплообмена и нагрева шихты. За счет изменений в расположении горелочных устройств зона активного теплообмена может быть расширена более чем на 24 %. Круговое движение газов придает газодинамике ДСП сходство с циклоном, что создает дополнительные условия для осаждения пыли внутри объема печи. Под действием инерционных (центробежных) сил частицы пыли и мелкие капли шлака оседают на охлаждаемой стенке печи и таким образом участвуют в формировании надежного гарнисажа. Эффективность осаждения частиц зависит от их размера, массы и скорости потока газов [3]. Степень осаждения пыли оценивалась двумя методами: «инженерным» и «по теории циклонов» [2]. По результатам моделирования (вариант Б) средняя скорость газов в объеме печи

составила 12 м/с. Определенная по предложенным методикам степень пылеосаждения на боковую стенку составила соответственно 27,1 и 25,6 %.

Особенности движения газов в печи определяют количество оседающей на электроды пыли. Сталеплавильная пыль состоит в основном из оксидов железа, которые в контакте с графитом и при высокой температуре начинают восстанавливаться. Происходит выгорание углерода и разрушение электрода. Возможна эрозия электрода при сходе образовавшихся на его поверхности наслоений. В случае рекомендованного расположения ТСУ степень осаждения частиц на поверхность электродов на порядок ниже (2,7 % в сравнении с 20,7 % по варианту фирмы «Danieli»).

Результаты компьютерного моделирования газодинамики рабочего пространства подтверждают, что рациональное размещение горелочных устройств является важным условием производительной и надежной работы печи. Предложенные рекомендации способствуют улучшению условий службы гарнисажа на водоохлаждаемых поверхностях огнеупорной футеровки и электродов, могут потенциально обеспечить экономию энергоресурсов.

Библиографический список

1. **Воронов, Г. В.** Особенности аэродинамики в рабочем пространстве современной дуговой сталеплавильной печи / Г. В. Воронов, М. В. Антропов, О. В. Порох // Новые огнеупоры. — 2014. — № 7. — С. 19–21.
2. **Тимошенко, Н. С.** Моделирование энергоэффективных решений системы газоудаления дуговой сталеплавильной печи [Электронный ресурс] / Н. С. Тимошенко, А. Н. Семко, С. Н. Тимошенко,

2013. Режим доступа : <http://steellab.com.ua> — свободный. — Рус.

3. **Швыдкий, В. С.** Очистка газов : справочник / В.С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев. — М. : Теплоэнергетик, 2002. — 640 с. ■

Получено 15.09.14

© Г. В. Воронов, М. В. Антропов, И. В. Глухов, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



2nd Iranian Refractory Symposium

19-20 May 2015 - Esfahan - Iran



Esfahan's Mobarakeh Steel Co.

Organizer

Iran Refractory Society & Esfahan's Mobarakeh Steel Co

In Collaboration with

Iranian Ceramic Society



Iran Refractory Society

2-й Иранский симпозиум по огнеупорам

19–20 мая 2015 г. г. Исфахан, Иран

www.conf-refractory.org/en/