

Д. Т. Н. Г. В. Воронов (✉), д. т. н. М. В. Антропов, О. В. Порох

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

УДК 666.187.2:621.365.2]:662.612.321/322

ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИКИ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СОВРЕМЕННОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Проанализирована типичная схема расположения горелочных устройств в рабочем пространстве современной дуговой сталеплавильной печи. Сформулированы условия оптимального размещения топливосжигающих устройств и предложена схема их рационального расположения. Особое внимание уделено энергетически эффективной и безопасной эксплуатации газокислородных и комбинированных горелок, улучшению условий службы огнеупорной футеровки шлакового пояса и электродов.

Ключевые слова: газокислородная горелка (ГКГ), комбинированная горелочная фурма (КГФ), аэродинамический угол, проекция факела, теплообмен, дуговая сталеплавильная печь (ДСП).

Вопрос обеспечения высокой производительности и энергетической эффективности дуговых сталеплавильных печей (ДСП) и эксплуатационной надежности их футеровки заслуживает особого внимания. Наметилась устойчивая тенденция к комплексному использованию различных способов интенсификации сталеплавильного процесса, в частности стеновых газокислородных горелок (ГКГ) и комбинированных горелочных фурм (КГФ). Такие устройства прочно вошли в практику применения и стали стандартным оборудованием ДСП. Однако результаты эффективного применения топливокислородных горелок до настоящего времени остаются малоисследованными.

Стандартные предложения зарубежных фирм, поставляющих электросталеплавильное оборудование в Россию, на наш взгляд, не удовлетворяют современным требованиям энергетической эффективности и промышленной безопасности. Этот вывод возник из опыта промышленной эксплуатации дуговых сталеплавильных агрегатов на металлургических предприятиях Уральского региона.

Значение ГКГ и КГФ для организации сталеплавильного процесса в современной ДСП очень велико. С помощью них решается ряд технологических задач, направленных на увеличение производительности печи и сокращение продолжительности плавки. Благодаря работе этих устройств появляется возможность использовать альтернативные источники теп-

ла и экономить часть электроэнергии, расходуемой за весь период плавки. Значительное снижение удельного расхода электроэнергии и электродов при использовании газокислородных горелок не вызывает сомнений [1].

Дополнительное использование энергии топлива в рабочем пространстве теоретически способствует существенному улучшению основных показателей работы печи, однако положительный эффект в таком случае существенно зависит от выбранной схемы размещения горелочных устройств и режима их работы [2].

В настоящей работе исследуется схема горизонтального расположения ГКГ и КГФ на действующей печи. Согласно данным [3], величина аэродинамического угла раскрытия газокислородного факела $\alpha_{a,d} \approx 37^\circ$. Это позволяет спроецировать на поверхность ванны границы распространения газовых потоков.

На рис. 1, а показано существующее размещение топливосжигающих устройств (ТСУ), при котором фактически невозможно обеспечить быстрый и равномерный нагрев по всей поверхности шихты. При работе печи образуется перегретая область А, где шихта быстро нагревается и оседает. Одновременно в пространстве печи сохраняется холодная область В, в которой нагрев шихты занимает большее время. Вследствие неравномерного нагрева и усадки возможны обвал шихтовой массы с повреждением электродов и нестабильное горение электрической дуги.

Кроме того, радиальное расположение горелок, обращенных к центру печи, не создает предпосылок для циркуляции продуктов сгорания в горизонтальной плоскости и интенсификации конвективного теплообмена на шихту. Направление факелов ТСУ на электроды становится причиной их преждевременного



Г. В. Воронов

E-mail: dinari-sha@yandex.ru

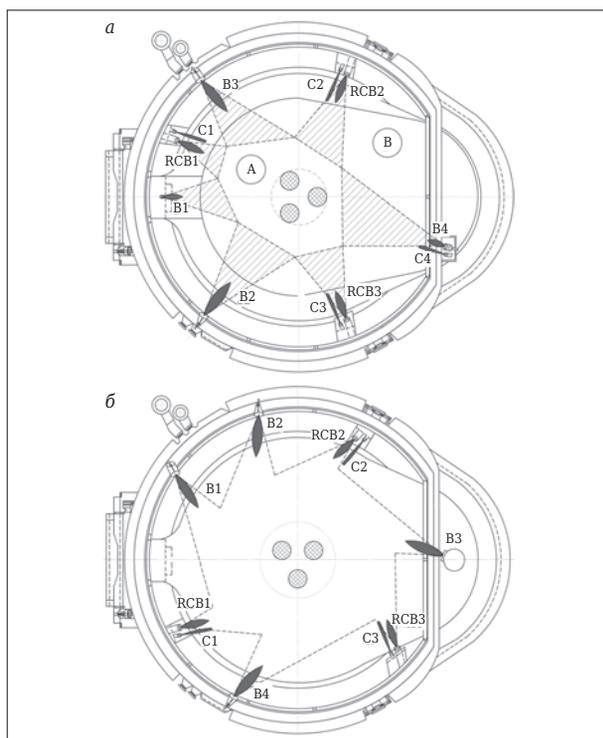


Рис. 1. Схема расположения ТСУ: *a* — существующее размещение; *б* — предложенный вариант: RCB1–RCB3 — КГФ; B1–B4 — стеновые ГКГ; C1–C4 — фурмы для подачи углеродсодержащих материалов

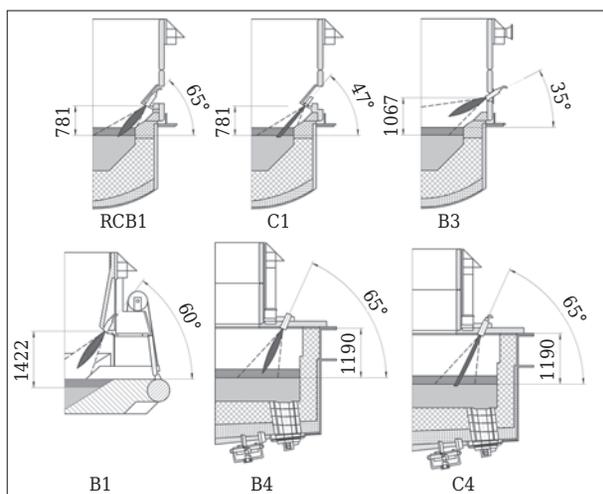


Рис. 2. Схема вертикального размещения ГКГ и КГФ по существующему варианту

износа. Под действием потока высокотемпературных газов в присутствии кислорода графит электродов начинает интенсивно окисляться и выгорать, в результате снижается механическая прочность электродов, увеличивается их удельный расход.

На рис. 1, *б* показана предложенная авторами схема размещения топливосжигающих устройств. Из анализа рисунка следует, что аэродинамическое поле в горизонтальной

плоскости ванны стало равномерным. Не участвующая в теплообмене зона *B* практически исчезла. В данном случае горелки размещены тангенциально, что создает хорошие условия для циркуляции газов в рабочем пространстве печи и интенсифицирует передачу тепла к шихте. Подобное размещение «угольных» фурм обеспечит равномерное распределение углеродсодержащих порошков и поддержание стабильного слоя вспененного шлака на всей поверхности сталеплавильной ванны.

Существенное значение имеет установка горелочных устройств в вертикальной плоскости (рис. 2). На современных печах стационарные ГКГ и КГФ принято располагать в защитных боксах, на внутренней стороне стеновых водоохлаждаемых панелей, вблизи поверхности плавильной ванны. В этом случае оптимальные условия теплопередачи обеспечиваются последовательным прохождением горячих газов через весь слой загруженной шихты.

Размещение горелки *B1* нерационально, поскольку она находится непосредственно над проемом рабочего окна печи и значительно удалена от уровня плавильной ванны. После проседания шихты довольно быстро прекращается ее контакт с факелом, условия конвективного теплообмена и нагрев в этой зоне становятся неэффективными.

Горелка *B4* в эркере печи по причине своего стационарного расположения и большого наклона в вертикальной плоскости имеет ограниченную зону действия. Процесс прогрева шихты в эркерной зоне может затянуться. В этой части печного пространства целесообразно установить подвижную ГКГ с возможностью перемещения в вертикальной плоскости и поворота в горизонтальной на угол до 65°. Факел этой горелки мог бы перемещаться от нагретых к относительно холодным зонам. Таким образом, можно в несколько раз расширить прогреваемую зону в области эркера. В жидкие периоды плавки эркерную горелку следует полностью выводить из рабочего пространства печи.

В расположении комбинированных горелочных фурм существует проблема соприкосновения аэродинамических границ факела с поверхностью огнеупорной футеровки стен и откосов плавильной ванны. При температуре газокислородного факела до 2700 °С существует опасность оплавления огнеупоров футеровки. Разрушение огнеупоров в период работы горелочных устройств может происходить из-за резкого колебания температур. Кроме того, периклазоуглеродистые и смолодоломитовые огнеупоры теряют углерод, находясь в контакте с

окислительными газами при высокой температуре [4]. Обезуглерожанный слой огнеупора, в котором выгорел углерод (графит), характеризуется пониженной прочностью, повышенной пористостью и низкой сопротивляемостью к размыванию расплавом. Обезуглероживание огнеупоров резко сокращает срок их службы, стойкость футеровки, увеличивает вероятность загрязнения стали неметаллическими включениями.

На рис. 3 показана схема вертикального расположения горелок, которая позволит решить эти проблемы. Итогом исследования следует считать ряд практических рекомендаций по оптимальному размещению топливо-кислородных горелок в рабочем пространстве ДСП.

Реализация указанных предложений не требует значительных капиталовложений и существенного изменения конструкции печи. По предварительным расчетам, рекомендованные мероприятия позволят расширить зону актив-

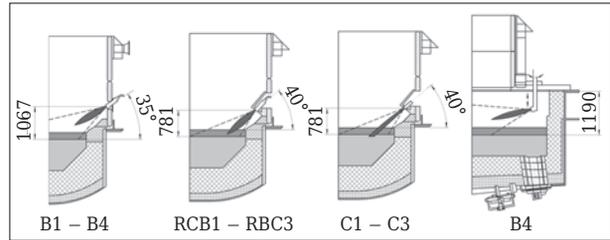


Рис. 3. Рекомендуемое вертикальное размещение горелок на современной ДСП

ного теплообмена более чем на 24 %, значительно улучшить газодинамику и тепломассобменные процессы в ДСП, повысить надежность футеровки сталеплавильной ванны в шлаковом поясе, снизить скорость выгорания электродов.

Результаты исследования и указанные в работе рекомендации могут быть использованы при создании новых агрегатов или модернизации действующих печей для энергосбережения, повышения их производительности и надежности.

Библиографический список

1. **Гудим, Ю. А.** Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы : монография / Ю. А. Гудим, И. Ю. Зинуров, А. Д. Киселев. — Новосибирск : изд-во НГТУ, 2010. — 547 с.
2. **Лузгин, В. П.** Энергетика применения альтернативных энергоносителей при плавке в дуговых сталеплавильных печах / В. П. Лузгин, К. Л. Косырев, О. А. Комолова // Черные металлы. — 2010. — № 10. — С. 8–12.
3. **Воронов, Г. В.** Исследование взаимодействия струи компрессорного воздуха с поверхностью жидкой ванны // Теплотехника процессов выплавки ста-

ли и сплавов. Вып. 7 : межвузовский сборник / Г. В. Воронов, С. Н. Гуцин, Н. И. Кокарев. — Свердловск : изд. УПИ, 1980. — С. 3–11.

4. **Кащеев, И. Д.** Футеровка дуговых электросталеплавильных печей / И. Д. Кащеев, И. П. Басьяс, Г. А. Фарафонтон, В. И. Сизов. — М. : Интермет Инжиниринг, 2010. — 192 с. ■

Получено 10.06.14

© Г. В. Воронов, М. В. Антропов, О. В. Порох, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



5th International Congress on Ceramics

Aug. 17th-21st, 2014

Beijing International Convention Center, Beijing, China



ICCS5 — 5-й международный конгресс по керамике

17–21 августа 2014 г.

<http://www.icc-5.com/>

г. Бейджин, Китай