

Необходимо отметить, что разработанная модель может быть использована для оптимизации шихтовки при выплавке стали в дуговых сталеплавильных агрегатах любой емкости с целью совершенствования технологии выплавки в условиях действующего производства, а также в учебном процессе.

УДК 669

### Влияние технологии нагрева металла в газопламенных печах на окалинообразование

Магистрант Юрчак А.Н.

Научный руководитель – Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Окисление металла в печи во многом определяет стоимость операции нагрева, поэтому разработка режимов нагрева металла с минимальным окалинообразованием является одной из наиболее актуальных задач поиска экономичных режимов тепловой обработки слитков и заготовок в металлургическом и машиностроительном производствах.

В общем случае угар металла пропорционален постоянной окалинообразования, зависящей от марки стали, химического состава атмосферы печи и температуры, а также квадратному корню из времени нагрева.

Помимо количественных характеристик окалины необходимо отметить такие ее свойства как прочность связи с металлом. При избытке топлива окалины образуется меньше, но она более плотная и характеризуется большей силой сцепления с металлом. При избытке воздуха окалина характеризуется более толстым слоем, который имеет малую связь с подложкой и вследствие разрыхления легко отделяется от металла. Следует отметить, что в сталях содержащих никель, окалина более плотная.

Результаты испытаний на растяжение образцов, нагретых в печи, отапливаемой природным газом, показали, что усилие отрыва окалины от образца на легированной стали (15..33 кг) в два раза больше чем на углеродистой стали (8..18) [1].

При малоокислительном нагреве стали в печах наиболее часто используются режимы нагрева, в которых защитная среда образуется за счет сжигания газа с недостатком воздуха.

Влияние коэффициента избытка воздуха на окалинообразование при сжигании природного газа было исследовано в работе [2]. Для исследований выбраны три марки стали: углеродистая - Ст3 с легко отделяющейся окалиной и хромоникельмедистые - 10ХН2МД и 10ХН4МД с «прилипающей» окалиной. Режим нагрева заключался в посадке образцов в печь с температурой 600..700 °С, нагреве их до температуры 1200 °С и выдержке при этой температуре в течение 6 часов с дальнейшим охлаждением на воздухе.

В ходе исследований была оценена глубина окисления металла по высоте неокисленной площадки над свободно окисляемой поверхностью. Анализ результатов показал, что при  $\alpha = 1,25$  наблюдается максимум окисления для хромоникелевой стали. Для углеродистой стали максимальное окисление (угар) наблюдается при  $\alpha = 1,05$ , а при  $\alpha = 1,25$  и  $\alpha = 1,45$  оно уменьшается.

Результаты исследований по влиянию коэффициента избытка воздуха на прочность сцепления окалины с металлом, находящимся при высокой температуре, показывают следующее:

- на углеродистой стали окалина не сохраняется при любых значениях  $\alpha$ ;
- при  $\alpha = 1,45$  толщина сохранившейся окалины минимальна для хромоникельмедистой стали (0,05 мм), тогда как при  $\alpha = 1,05$  она максимальна (2мм);
- толщина сохранившейся окалины на стали 10ХН2МД при  $\alpha = 1,45$  для условий нагрева в газопламенной печи меньше чем в электрической печи, а при малых значениях  $\alpha$  (1,05; 1,25) больше, чем в электрической печи.

Повышение коэффициента избытка воздуха более 1,45 приводит к дальнейшему уменьшению окалинообразования, о чем свидетельствуют данные, приведенные в работе [3]. По результатам исследований угара для стали 10 при коэффициентах избытка воздуха в диапазоне от 0,6 до 4,5, а также в воздушной среде можно сделать однозначный вывод, что достигнуть снижения угара можно как уменьшая коэффициент избытка воздуха, так и увеличивая его по отношению к стехиометрическому соотношению.

С технологической точки зрения данные исследования особенно важны, поскольку часто считается, что герметизация рабочего пространства должна приводить к снижению окалинообразования. Опыт эксплуатации высокотемпературных печей, построенных в последнее время и имеющих возможность изолировать поступление дополнительного воздуха в печь, показывает, что угар при этом во многих случаях не уменьшается. Связано это с тем, что продуктами сгорания природного газа при  $\alpha = 1$  являются  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , каждый из которых при высоких температурах является более сильным окислителем, чем воздух, состоящий из кислорода и азота. По данным [4] окислительная способность водяного пара почти такая же, как и свободного кислорода и в 2,0...2,5 раза выше окислительной способности диоксида углерода. Содержание 0,1...0,2 %  $\text{SO}_2$  почти в два раза увеличивает количество образующейся окалины.

Известно что, для решения проблемы уменьшения окисления металла существует три принципиально отличающихся технологических подхода:

- создание защитной атмосферы и использование радиационных труб;
- создание малоокислительной печной атмосферы путем понижения содержания воздуха в сварочной и томильной зонах (т.е. при высоких температурах металла) и подачи дополнительного количества воздуха в первые зоны печи для дожигания продуктов горения;
- разработка оптимальных температурных режимов работы печи.

Кроме того, необходимо точное соблюдение разработанного температурного режима в процессе эксплуатации, так как локальный перегрев металла и чрезмерная выдержка приводят к потерям металла.

### Литература

1. Темлянец Н.В. Повышение качества толстолистового проката на основе применения рациональных режимов нагрева стали в печах и деформационного окалиноудаления: диссертация... кандидата технических наук: 05.16.05, Новокузнецк, 2007
2. Кириллов Ю.А. Комплексное исследование окалинообразования на углеродистых и низколегированных сталях и оптимизация процессов нагрева при горячей пластической деформации: диссертация... кандидата технических наук: 05.02.01, 1998
3. Дистергефт И.М. Новый способ уменьшения угара, обезуглероживания и наводороживания металла при нагреве в пламенных печах // Сталь №1, 2008, С.86-93.
4. Кривандин В.А., Филимонов Ю.П. Теория металлургических процессов, М. 1986. – 361 с.

УДК 669

### **Использование новых типов горелочных устройств в металлургических нагревательных печах**

Магистрант Юрчак А.Н.

Научный руководитель – Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Нагревательные топливные печи, традиционно работающие на газообразном топливе, являются одним из крупнейших потребителей энергоресурсов. Между тем, цена природного газа растёт теми же темпами, или даже быстрее, чем цена на нефтепродукты. Затраты на потребляемый газ, как часть текущих затрат, вряд ли уменьшатся в будущем и могут существенно возрасти в дальнейшем. Кроме того, в настоящее время возрос интерес к новым конструктивным решениям газосжигающего оборудования, вследствие всё более строгих требований к выбросам в атмосферу. Оба фактора являются причиной для поиска путей существенного снижения потребления энергии в высокотемпературных процессах, и не только в производстве металла как наибольшего энергопотребителя, но и в других отраслях (производство стекла, керамики, в нефтехимической промышленности и др.)

Использование теплоты отходящих продуктов сгорания для подогрева поступающего в горелки воздуха является существенным резервом экономии топлива. Анализ показывает, что при подогреве воздуха в рекуператорах представляется возможным экономить около 40 % топлива, при подогреве воздуха в регенераторах — до 60 %.

Широко применяемые кирпичные регенераторы обеспечивают возвращение в печь с подогретым воздухом около 50% теплоты отходящих продуктов сгорания. Вместе с тем эти регенераторы громоздки, требуют значительных затрат на сооружение и эксплуатацию, а конструкции устройств для сжигания газа с подогретым в кирпичных регенераторах воздухом не обеспечивают качественного сжигания газа и эффективного теплообмена в рабочем пространстве печи.

Применяемые на печах промышленных предприятий Республики Беларусь рекуператоры не решают проблему эффективного использования теплоты отходящих продуктов сгорания. Керамические рекуператоры не обладают достаточной газоплотностью. Однако, за рубежом уже разработаны и проверены в промышленных условиях опытные образцы газоплотных керамических рекуператоров, разработаны конструкции высокоэффективных металлических рекуператоров, обладающих хорошей газоплотностью, с удачным решением вопросов компенсации температурных расширений. Применение специальных сталей обеспечивает срок эксплуатации таких рекуператоров более десяти лет при температуре отходящих продуктов сгорания до 1400 °С.

В последнее время за рубежом в промышленных теплотехнологиях получают широкое распространение регенеративные и рекуперативные горелки, разработка которых является наиболее крупным достижением за более чем столетний период в области использования теплоты высокотемпературных отходящих про-