

Энергосбережение при сушке и нагреве футеровки сталеразливочных ковшей

Строгонов К. В., канд. техн. наук, Попов С. К., доктор техн. наук, Абакин Д. А., бакалавр

НИУ “МЭИ”, Москва

Приведена схема стенда, оснащенного рекуперативной горелкой, позволяющая экономить топливо при сушке и нагреве футеровки ковшей, применяемых в металлургии. Разработана математическая модель, с помощью которой установлена временная зависимость для расхода топлива, обеспечивающая заданный график сушки и нагрева ковша. Представлены результаты исследования, выявившие ожидаемую экономию топлива в пределах 23,1 – 25,3 %.

Ключевые слова: стенды сушки и нагрева ковшей, рекуперативная горелка, энергосбережение.

На предприятиях черной и цветной металлургии для транспортировки и разлива жидких металлов используют футерованные огнеупорными материалами ковши. Ресурс футеровки в значительной степени зависит от числа циклов нагрева и остывания, а также от степени остывания. Для уменьшения возникающих при заливке металла термических напряжений в футеровке ковшей необходимо поддерживать высокую температуру в период, предшествующий разливке. С этой целью применяют стенды ее сушки и нагрева, на которых, как правило, сжигается природный газ в объеме ковша.

Сушку и последующий нагрев кладки сталь-ковшей на предприятиях черной металлургии рекомендуется осуществлять при температуре до 1200 °С, чтобы минимизировать тепловой удар при заливке жидкой стали с температурой около 1650 °С. Помимо разрушающего воздействия на огнеупорную кладку ковшей заливка в недогретый ковш снижает температуру жидкой стали, поэтому возникающие тепловые потери требуется восполнять в агрегатах последующей доводки стали путем подогрева до необходимых температур. Повышение температуры ковша перед заливкой стали с 900 до 1200 °С приводит к уменьшению расхода электроэнергии на ковш-печи на 10 % и увеличению стойкости футеровки на 3 – 5 %.

В настоящее время стенды для сушки и нагрева сталь-ковшей выпускают специализированные фирмы, например, концерн “Струйные технологии” [1], НПП “Теска” [2]. На предприятиях, использующих стенды, применяют различные способы снижения расхода природного газа на эти устройства, в частности, уменьшают выбивание продуктов горения за счет различных уплотнений между крышкой и нагреваемым ковшом. На вертикальных стендах все большее распространение находят

механизмы опускания крышки. Применяют автоматизированное горелочное оборудование [1 – 3]. Вместе с тем в большинстве случаев на металлургических комбинатах России и СНГ высокопотенциальную энергию отходящих газов на данных установках не используют.

Известна реализация способа регенерации теплоты дымовых газов с помощью металлического трубчатого рекуператора на установке сушки сталь-ковшей [4]. Оборудование спроектировано и реализовано в ОАО “НКМЗ”. Данное решение позволило вдвое сократить потребление топлива. Однако рекуператор обеспечивает подогрев воздуха до температур не выше 450 °С, что обуславливает значительную долю тепловых потерь с уходящими газами. Кроме того, размещение рекуператора на крышке стенда существенно усложняет его конструкцию и увеличивает металлоемкость, а значит, и стоимость, а также затраты энергии на перемещение крышки стенда.

Рациональными направлениями снижения энергозатрат на данном оборудовании и установках доводки стали являются глубокая регенерация теплоты отходящих газов и нагрев футеровки до температур, оптимально приближенных к температуре выпуска стали. Регенеративное использование теплоты отходящих газов на установках сушки и нагрева ковшей предлагается реализовать с помощью рекуперативных горелок. Выпускаемые разными фирмами, они широко применяются в различных печах и плавильных агрегатах [5], а также исследуются в составе новых разрабатываемых теплотехнологических объектов [6].

Работа предлагаемого устройства (рис. 1) осуществляется следующим образом. Футерованный ковш 14 подается на сушку. Рама 1 с помощью устройства подъема и опускания 2 накрывает ковш футерованной крышкой 3,

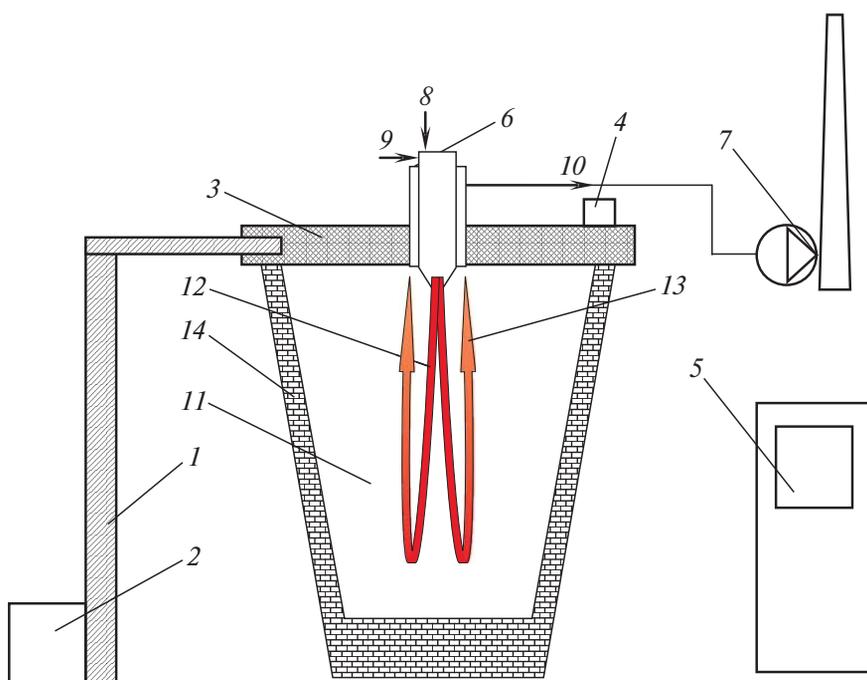


Рис. 1. Схема стэнда с рекуперативной горелкой для разогрева ковша

которая исключает или минимизирует подсосы холодного воздуха и выбивание дымовых газов из ковша. Крышка имеет одну или несколько рекуперативных горелок 6, в которые подаются топливо 8 и воздух 9. В объем 11 ковша из горелки поступает поток продуктов горения 12. Отдав часть теплоты футеровке, поток отходящих газов 13 направляется в ту же рекуперативную горелку. Поток уходящих газов 10 отводится через систему дымоудаления 7. Температурные характеристики процессов сушки и нагрева ковша фиксирует контрольно-измерительная аппаратура 4, информация от которой поступает в систему автоматизации 5 для управления мощностью горелок.

Рекуперативная горелка, обеспечивая высокотемпературный нагрев дутьевого воздуха, позволяет существенно снизить температуру уходящих газов и уменьшить их объемный расход.

С целью исследования режимных характеристик тепловой работы стэнда с рекуперативной горелкой для разогрева ковша вместимостью 80 т разработана его математическая модель в программно-вычислительном комплексе ANSYS. Исходными данными являются:

конструктивные параметры стэнда, включая габаритные размеры, число слоев футеровки ковша и его крышки, тип материала и толщину каждого слоя;

площадь поверхности теплообмена и коэффициент теплопередачи воздухоподогревателя, встроенного в горелку;

коэффициент расхода воздуха на сжигание топлива — природного газа;

начальное температурное поле в ограждении и неподвижном газовом объеме ковша; регламентированный график изменения во времени температуры внутренней поверхности ограждения ковша для варианта I длительностью 55 ч и варианта II длительностью 18 ч (рис. 2). Эти варианты соответствуют различным конструкциям ограждения ковша.

В модели использованы допущения:

на наружной поверхности ограждения ковша и его крышки — свободно-конвективный теплообмен, на внутренней поверхности — радиационно-конвективный теплообмен;

в объем ковша из рекуперативной горелки поступает поток продуктов горения с температурой, равной калориметрической температуре горения топлива при заданном коэффициенте расхода воздуха и температуре его подогрева, определенной по текущему значению температуры отходящих газов;

режим движения продуктов горения — турбулентный, описываемый стандартной $k-\varepsilon$ -моделью турбулентности. Соответственно в математическое описание задачи включены уравнения сохранения кинетической энергии турбулентности k и скорости ее диссипации ε .

Задачи исследования:

1) установить временную зависимость расхода топлива, обеспечивающую выполнение регламентированного температурного графика тепловой обработки ковша с минимальным

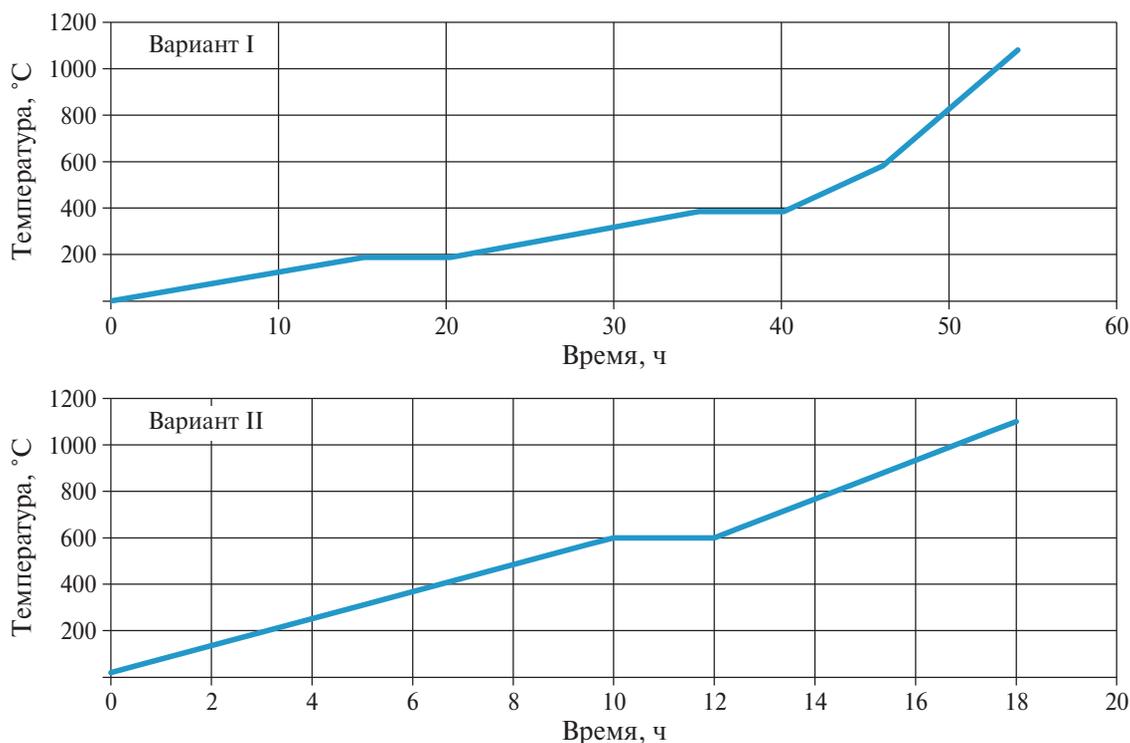


Рис. 2. Регламентированные температурные графики тепловой обработки ковша

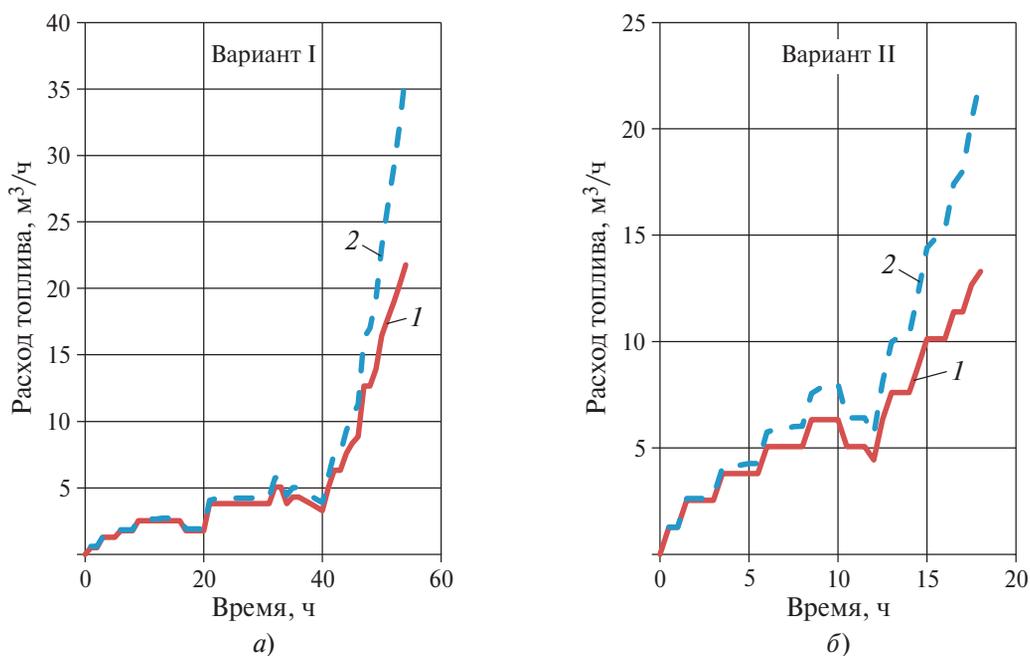


Рис. 3. Графики изменения во времени расхода топлива для реализации регламентированных температурных графиков при использовании (кривые 1) и отсутствии (кривые 2) регенеративного подогрева воздуха

отклонением. В случае применения рекуперативной горелки определить соответствующие временные графики для температуры подогретого воздуха и уходящих газов;

2) проанализировать варианты работы на холодном дутьевом воздухе и при подогреве его в рекуперативной горелке. Определить

экономия топлива при переходе на использование рекуперативной горелки.

Некоторые результаты исследования представлены на рис. 3.

Анализ температурных полей в футеровке ковша в процессе нагрева показывает, что предлагаемая конструктивная схема стенда

| Приход | | | Расход | | |
|----------------------------------|-------|--------|---|-------|--------|
| Статья | ГДж | % | Статья | ГДж | % |
| При работе на холодном воздухе | | | | | |
| Химическая теплота топлива | 13,65 | 100,00 | Теплота уходящих газов | 4,17 | 30,53 |
| | | | Потери теплоты теплопроводностью через ограждение | 1,84 | 13,50 |
| | | | Теплота, аккумулируемая ограждением | 7,64 | 55,97 |
| Итого | 13,65 | 100,00 | Итого | 13,65 | 100,00 |
| При работе на горячем воздухе | | | | | |
| Химическая теплота топлива | 10,50 | 84,45 | Теплота уходящих газов | 2,96 | 23,81 |
| Теплота горячего воздуха | 1,94 | 15,55 | Потери теплоты теплопроводностью через ограждение | 1,84 | 14,81 |
| | | | Теплота, аккумулируемая ограждением | 7,64 | 61,38 |
| Итого | 12,44 | 100,00 | Итого | 12,44 | 100,00 |

обеспечивает требуемую равномерность температуры внутренней поверхности футеровки. Тепловой баланс ковша за 55-часовой цикл его сушки и нагрева при работе стенда на холодном и на горячем воздухе при использовании рекуперативной горелки представлен в таблице.

В рассматриваемом случае применение рекуперативной горелки может обеспечить экономию топлива на 23,1 % и существенное повышение КПД установки с 56,0 до 72,7 %. В других случаях переход на регенеративный подогрев воздуха по предлагаемой схеме может дать энергосберегающий эффект в рассмотренных вариантах регламентных графиков на уровне 23,1 – 25,3 %.

Выводы

1. Предлагаемая схема организации сушки и нагрева ковшей по сравнению с известными аналогичными установками может обеспечить снижение расхода топлива на 20 – 30 %.

2. Переход на подогрев воздуха в рекуперативной горелке сопровождается не только энергосберегающим, но и экологическим эффектом — уменьшением теплового загрязнения окружающей среды: тепловой поток с уходящими газами уменьшается на 29 % вследствие снижения расхода и температуры уходящих газов.

3. Расчетным исследованием скоростных и температурных полей в газовом объеме и футеровке ковша установлено, что предлагаемая схема обеспечивает возможность реализации качественного нагрева футеровки (с

равномерным распределением температуры внутренней ее поверхности по высоте и периметру) и соблюдение регламентированного температурного графика процесса.

4. Математическая модель стенда с рекуперативной горелкой для разогрева ковша, разработанная в комплексе ANSYS, позволяет решать задачи по исследованию сушки и нагрева, выработке рекомендаций по выбору конструктивных и режимных параметров процессов, управлению работой стенда.

Список литературы

1. <http://www.jettechnologies.ru/>
2. <http://www.npp-teska.ru/>
3. Система управления стендом сушки и высокотемпературного разогрева сталеразливочных ковшей / В. Спирин, А. Савин, В. Чистяков и др. — Современные технологии автоматизации, 2000, № 3.
4. Автоматизированная система управления стендом вертикальной сушки ковшей / В. Переходченко, А. Ребедак, С. Гаркавенко и др. — Современные технологии автоматизации, 2006, № 3.
5. Дьяков С. В., Дьяков А. В., Макий А. Е. Опыт применения горелок WS в нагревательных и термических печах. — Оборудование. Технический альманах, 2009, № 1.
6. Дорохина О. Г., Курносков В. В., Левицкий И. А. Математическое моделирование теплообмена и газодинамики в рабочем пространстве печи для термообработки стальных листов. — В кн.: Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология. Труды VI международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи, посвященной 80-летию ММК. — М.: НИТУ МИСиС, 2012.

strogonovkv@yandex.ru