

А.Е. Макий, фирма «WS GmbH», А.Е. Жигунов, ЗАО «Керамаш», Р.А. Згоденко, ЗАО «Керамаш»

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРЕЛОК WS ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

РЕЗЮМЕ

Парк нагревательных печей, установленных на заводах стран бывшего СССР, представлен в основном старым оборудованием, изношенным до предела как физически, так и морально, что очень часто не позволяет выполнять нагрев с необходимой скоростью, при минимальном содержании кислорода и экономном потреблении природного газа. Имеет место проблема неравномерности нагрева материала, что приводит к затруднениям при его дальнейшей обработке.

Одним из вариантов, на который стоит обязательно обратить внимание при принятии решения о замене печного оборудования, является комплексная модернизация печи, включающая, как основные составляющие, замену горелок, футеровки и печной автоматики.

Нагревательная печь на заводе ОАО «Тяжмаш», г. Рязань была модернизирована фирмой ЗАО «Керамаш» с учетом новейших стандартов печестроения, таких как мягкая футеровка, автоматические высокоскоростные горелки производства фирмы WS с КИТ порядка 75%, тактовая система управления и печная автоматика ASCON, сохранив без ухудшения конечного результата при этом от 30 до 85% денежных средств, которые бы понадобились для покупки новой печи с аналогичными характеристиками. Поскольку детальное описание всего процесса модернизации требует большого объема времени, данный труд посвящен конкретно модернизации газогорелочного оборудования.

ИСХОДНАЯ СИТУАЦИЯ

Нагревательная газовая печь с выкатным подом используется для нагрева заготовок под ковку. В печи заготовки весом до 13 тонн нагреваются до температуры 1250 °С. На печи были установлены 10 инжекционных горелок, каждая потреблением 10 нм³/час, воздух на горение подавался холодный, без предварительного догрева. Настройка соотношения газ/воздух производилась вручную и поддерживалась системой пропорциональной регуляции. Печь довольно сложно поддавалась управлению, из-за сложности точной настройки топливной смеси, а также из-за негерметичности печи при нагреве происходило попадание в печь большого количества кислорода, что приводило к сильному окалинообразованию. Потери с окалиной были высокими.

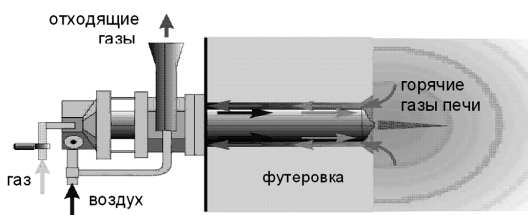


Рис. 1. Схема работы рекуперативной горелки. Пламенное горение в высокотемпературных печах

ПОДБОР ГОРЕЛОК

После предварительного этапа проектирования и расчета теплового баланса печи с учетом новых теплопотерь, существенно уменьшившихся после замены футеровки на малоинерционную, устранению негерметичностей и потерь тепла через неплотности в заслонке, встал вопрос о выборе горелочного оборудования.

Предварительно рассматривалась установка горелок, получающих догретый воздух из центрального рекуператора. Несмотря на очевидные преимущества этой горелочной системы и ее сравнительную дешевизну, она обладает рядом недостатков, которые через короткое время эксплуатации свели бы на «нет» первоначальные преимущества.

Во-первых, система с центральным рекуператором не позволяет догреть воздух, идущий на горение, до температуры выше 400 °С. Существующие центральные рекуператоры позволяют догреть воздух до 600 °С, но здесь приходится сталкиваться с установкой дорогой регулирующей арматуры и исполнительных механизмов, выдерживающих высокую температуру, что сделало бы проект существенно более затратным. Данное обстоятельство не позволяет достичь коэффициента использования топлива (КИТ) характерного для современных систем нагрева на уровне 80—90%, что, при постоянно растущих ценах на природный газ, является очень важным обстоятельством.

Кроме того, рабочие поверхности центрального рекуператора покрываются уже после года эксплуатации налетом, существенно снижающим его эффективность (1 мм налета уменьшает догрев приблизительно на 50—100 °С), обслуживание же такого рекуператора затруднительно. В дальнейшем же ситуация имеет тенденцию ухудшаться. Не стоит также забывать о трубопроводах от/к рекуператору, которые для минимизации потерь нуждаются в надежном утеплении. Эти обстоятельства заставили задуматься о возможности использования более современного горелочного оборудования.

РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ГОРЕЛКИ

В процессе проектирования было решено применить горелки REKUMAT CX200 производства фирмы WS GmbH (Германия) со встроенным керамическим рекуператором с керамическим соплом специальной конструкции, равномерно распределяющим тепло в пространстве печи, уменьшая при этом уровень образования окалины и повышая производительность печи. Горелки изготовлены с большим количеством деталей из устойчивой к термическому износу керамики, что обеспечивает долгий срок службы оборудования, вплоть до его морального износа. Горелки WS поставляются полностью готовыми к эксплуатации (собранными и предварительно настроенными), с комплектной автоматикой управления и безопасности, со всей

необходимой трубной и электрической разводкой. Для установки горелок WS не требуется специальная подготовка персонала. Каждая из горелок снабжена собственным устройством управления и безопасности, что позволяет моделировать систему нагрева печи самостоятельными модулями. Регулирование работой горелки происходит по принципу «Вкл./Выкл.» (импульсно), что соответствует современной цифровой технике управления. Настройки горючей смеси для каждой горелки оптимизируются под единственно возможную оптимальную рабочую точку и не изменяются под влиянием регулировки температуры. Это позволяет избежать снижения эффективности из-за колебаний соотношения воздух/топливо. Применение таких горелок является экономически выгодным благодаря значительной экономии энергии и обеспечивает очень низкий уровень выделения окислов азота (NOx).

Конструкция рекуперативной горелки базируется на встроенном в горелку-рекуператоре теплообменнике: дымовые газы удаляются из печи через саму горелку, а воздух, идущий на горение, нагревается, охлаждая отходящие газы. Горелки такой конструкции позволяют добиться КИТ до 85%, что выгодно отличает их в сравнении с горелками без догрева воздуха с КИТ не более 40% или с системами с центральным рекуператором — КИТ около 65%.

При этом рекуперативная горелка оптимизирована таким образом, что могут быть достигнуты очень низкие, практически нулевые выбросы CO и NOx. Поскольку горелка и рекуператор-теплообменник являются одним целым, то в этом случае практически отсутствуют потери в трубопроводах, которые есть при применении центрального рекуператора (см. рисунок 1).

FLOX

Обычно потенциал экономии энергии используется только частично, и одной из главных причин тому является повышение температуры факела при высоком догреве воздуха горения, что приводит к чрезмерному образованию термического NOx. Возможность уменьшения температуры факела и, тем самым, уменьшения выделения оксидов азота, дает инертизация факела: процесс основывается на принципе смешивания больших количеств печных газов с воздухом для сгорания перед реакцией с топливом. Захват инертных печных газов (выполняющих функцию химического и термического балласта) происходит за счет большого движущего импульса струй воздуха, вдуваемого в камеру сгорания. Благодаря специальной конструкции сопел горелок FLOX® происходит управляемое и полностью беспламенное сгорание без пульсаций и видимого факелом, а также без характерного шума, издаваемого факелом.

Для осуществления этого процесса топливо смешивается с воздухом для горения в том месте, где уже произошло необходимое смешение с печными газами, но еще остается достаточная смешивающая энергия турбулентности для осуществления реакций горения. Такой беспламенный режим горения возможен только выше температуры самовоспламенения топлива, которую, ради безопасности, можно принять равной 850 °C. Поскольку беспламенное горение невидимо, контроль безопасности горелки посредством детектора ионизации или ульт-

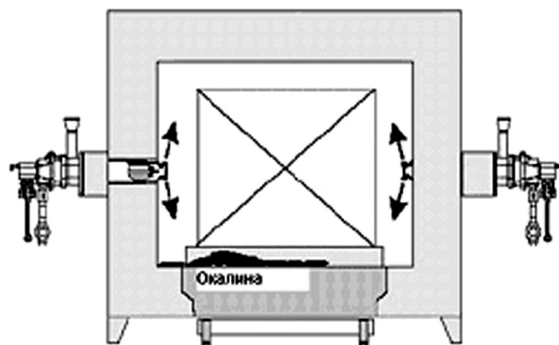


Рис. 2. Схематическое сечение реконструированной печи

рафиолета невозможен: при этом мерой безопасности является контроль температуры печи выше пороговой величины 850 °C и контроль потока воздуха горения.

Горелки, описанные в данной статье, приспособлены для работы как в режиме «Пламя» (используемом для запуска из холодного состояния), так и в режиме беспламенного горения FLOX®. Переключение не представляет сложности, и поэтому не требуются отдельные горелки для режимов горения ниже и выше 850 °C. При нагреве печи выше пороговой температуры FLOX® возможно переключение в беспламенный режим, при этом значительно снижается уровень шума. Что самое главное, значительно снижается уровень выбросов NOx, до 10—20% от величины выбросов в режиме «Пламя».

Посредством беспламенного процесса решается проблема возрастания уровня образования NOx при увеличении температуры предварительного нагрева воздуха. В обычных условиях горения «Пламя», уровень образования NOx возрастает значительно быстрее температуры догрева, тогда как в беспламенном режиме он падает почти на порядок от этой величины. Таким способом можно использовать предварительный высокотемпературный нагрев воздуха практически без ограничений с весьма значительной экономией энергии, а, следовательно, и со значительным выигрышем в рентабельности. Для реализации этой возможности и для эффективного нагрева воздуха были предложены рекуперативные горелки.

ПРОВЕДЕННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ

На рисунке 2 показана схема печи после реконструкции: по 3 рекуперативных горелки WS Rekumat® CX200 с плоскостопламенными насадками с обеих сторон, потребляемая мощность каждой горелки — 100 кВт.

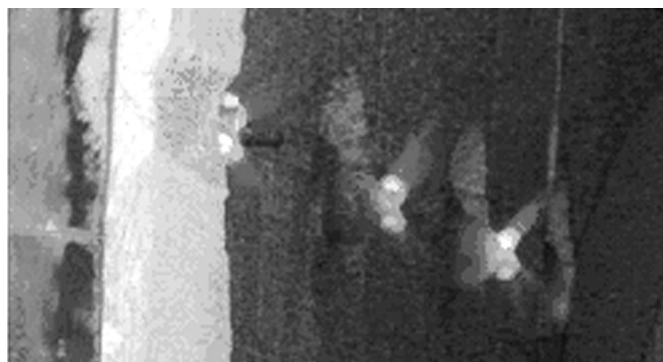


Рис. 3. Горелки с плоским факелом в кузнечной печи

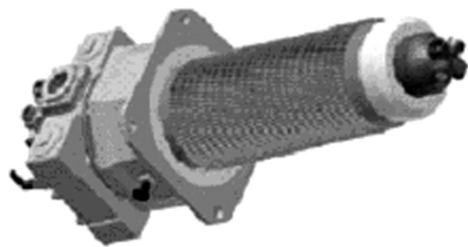


Рис. 4. Рекуперативная горелка REKUMAT®

Горелка REKUMAT®CX200 со встроенным рекуператором воздуха в виде противоточного рифленого теплообменника с камерой горения специальной конструкции: она дает либо четыре аксиальных факела, либо четыре беспламенных струи под углом 90° (см. рисунок 4). Суммарный максимальный расход газа после реконструкции планируется на уровне не выше 60 нм³/час при работе 6 горелок, работающих по круговой схеме, при этом в печь будет поступать до 500 кВт полезного тепла. Благодаря увеличению суммарной полезной мощности можно производить нагрев слитков быстрее, а также, возможно повышение производительности печи. Как можно видеть на рисунке 3, поток тепла больше не направлен на слиток; благодаря расположению сопел горелок тепло равномерно распределяется по всей печи. На рисунке 3 горелки с плоским факелом работают в режиме «Пламя», и можно отчетливо видеть факелы боковых сопел.

Каждая струя воздуха для горения имеет настолько высокую скорость на выходе, что увлекает за собой достаточное количество печных газов из внутреннего пространства печи перед реакцией с топливом и установлением режима управляемого беспламенного горения. Выходной импульс сопел горелки и создаваемая структура потоков формируют теплопередачу к кузнечному слитку и стенкам печи. Использование горелок с плоским факелом исключает прямой контакт между факелом и слитком. Таким способом можно избежать локального перегрева. Кроме того, заметно улучшается температурная равномерность благодаря разделению факела на четыре одиночных струи. Рисунки 5 и 6 показывают происходящее в испытательной печи: на рисунке 5 горелка работает в режиме «Пламя», на рисунке 6 она работает в беспламенном или FLOX® режиме. Отчетливо видно, что в режиме «Пламя» имеет место перегрев стены возле насадки горелки (см. рисунок 5), тогда как согласно рисунку 6 можно сделать вывод о высокой степени равномерности распределения температуры.

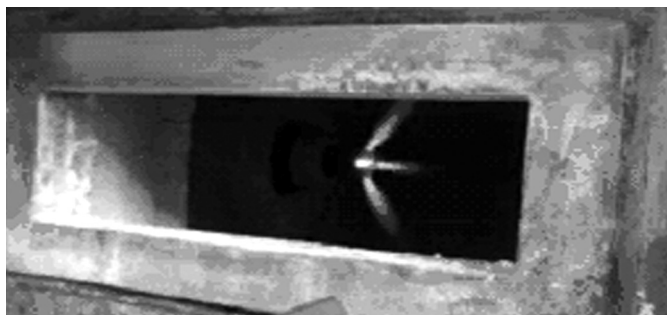


Рис. 5. Горелка с плоским факелом в режиме Пламя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отличительные особенности и преимущества горелок с плоским факелом, примененных в кузнечной печи, можно суммировать следующим образом:

- легко достигнуто повышение термической эффективности более чем на 30% относительно варианта без использования предварительного нагрева воздуха;
- значительно снижен уровень термического образования NOx, даже при очень высоком предварительном нагреве воздуха;
- весь температурный диапазон может быть охвачен одной горелкой (режим Пламя и режим FLOX®);
- возможно свести к минимуму проблемы, порождаемые окислением, и контроль безопасности;
- распределение на четыре сопла нагревает слиток ко-свенным образом, уменьшая степень окисления;
- керамическая конструкция камеры сгорания значительно сокращает необходимое обслуживание горелки;
- уменьшается совокупная потребность в обслуживании горелок и связанное с этим время простоя;
- необходимость замены минимум раз в 2 года горелочных камней на всех горелках отпадает.

При реконструкции или строительстве нагревательной или термической печи особое внимание необходимо уделить параметрам и свойствам столь важного элемента, как газовая горелка. Параметры горелок, такие как равномерность нагрева, выбросы посторонних и вредных веществ, расход топлива на единицу продукции и т.д., очень часто оказывают решающее влияние на качество и себестоимость конечного продукта, на конкурентоспособность и спрос на продукцию.

О КОМПАНИИ

Научно-производственное предприятие фирма WS GmbH основана 25 лет назад. Направлением деятельности фирмы является создание автоматических газовых горелок с догревом воздуха горения во встроенном теплообменнике (рекуператоре REKUMAT или регенераторе REGEMAT), а также изготовление излучающих радиантных труб для непрямого нагрева. Горелки WS экономят газ благодаря высокому КИТ — до 90% и отличаются очень малым выбросом вредных веществ CO и NOx.

Фирма WS поставила своим клиентам во всем мире около 45 000 горелок, причем более половины из них — в комплекте с излучающими трубами.

Более подробную информацию Вы сможете найти на сайте фирмы www.flox.com

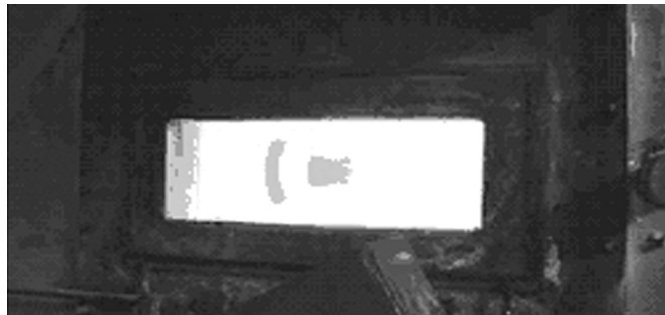


Рис. 6. Горелка с плоским факелом в беспламенном режиме FLOX