

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТОПЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Запорожская государственная инженерная академия

Виконано аналіз сучасних технологій опалення та систем регулювання теплових параметрів камерних термічних печей з позиції енергоспоживання й забезпечення якості теплової обробки металу.

Выполнен анализ современных технологий отопления и систем регулирования тепловых параметров камерных термических печей с позиции энергопотребления и обеспечения качества тепловой обработки металла.

There are executed the analysis of modern technologies of heating and systems of adjusting of thermal parameters for chamber thermal stoves from position of energy consumption and providing of quality of metal thermal treatment.

Введение. Энергопотребление термических печей определяется используемой технологией отопления, которая представляет собой совокупность операций и приемов, связанных с подготовкой, транспортировкой горючих газов и окислителей, их смешиванием и сжиганием, а также удалением продуктов сгорания.

Анализ достижений. Существует несколько разновидностей технологий отопления с практически одинаковой технической реализацией, но отличающихся алгоритмами подготовки окислителей и горючих газов, способами и местом их ввода в рабочие камеры печей. Адекватность технологии отопления технологическим процессам термообработки, конкретному исполнению печи, гибкость ее перестройки при изменении вида термообработки определяются системой управления. Поэтому отопление следует рассматривать только в комплексе с системами управления.

В научно-технической литературе в достаточном объеме изложены теоретические основы различных технологий отопления, а также освещен накопленный опыт их эксплуатации. В основу практически всех технологий отопления положены известные положения:

– температурное поле в рабочей камере печи формируется под действием сжигания топлива и движения газов [1];

– однородность поля температуры обеспечивается путем перемешивания газов за счет турбулизации потока при увеличении его скорости, реверсировании или организации каких-либо дополнительных воздействий.

Выбор технологии отопления и системы управления определяется схемой организации тепловой работы печи. Различают две тепловые схемы:

– температуру греющих газов, вводимых в рабочую камеру, поддерживают постоянной в течение всего цикла термообработки, а управление тепловой мощностью печи осуществляют изменением расхода топлива; в этом случае в печи поддерживают температуру в соответствии с температурным графиком термообработки;

– расход продуктов сгорания поддерживают постоянным, а изменяют температуру греющих газов, вводимых в печь.

Постановка задачи. Необходимо проанализировать известные технологии и способы регулирования термических печей с позиции обеспечения заданных темпе-

ратурных графиков, оценить технико-экономические показатели, определить рекомендации по выбору технологии отопления и систем управления.

Основная часть исследований.

Традиционная технология отопления. До недавнего времени наибольшее распространение на нагревательных и термических печах получила технология отопления, которая использует факельное сжигание газа и реализует первую или вторую тепловую схему. При этом процессы горения и теплообмена совмещены в пространстве рабочих камер печей и не удается обеспечить технологически необходимую точность и стандартность нагрева садки. В последние годы осуществили переход на рециркуляционные технологии, где процессы горения газа и теплообмена разделены в пространстве [2]. Горение топлива выносят из рабочих камер и осуществляют в специальных узлах подготовки греющей среды с использованием остывших газов. Топливо смешивают с воздухом и сжигают в вынесенных топках по первой схеме – с коэффициентом расхода воздуха $\alpha = 1,05 \dots 1,15$ или по второй схеме – с переменным коэффициентом расхода воздуха.

Возможно использование трех способов введения рециркулята:

- введение его непосредственно в рабочую камеру печи;
- подмешивание рециркулята в топливо-воздушную смесь до начала горения;
- подмешивание рециркулята к воздуху до подвода к горелочным устройствам.

При применении третьего способа введения рециркулята, горение топлива происходит стабильно только до определенной степени разбавления воздуха продуктами горения, которая зависит от типа и режимных параметров горелочных устройств. При увеличении содержания продуктов горения в подводимом воздухе более некоторого порогового значения факел становится нестабильным, происходит его отрывание и, как следствие, погасание.

Во всех случаях в рабочей камере поддерживают некоторую температуру, близкую к заданной величине. При изменении тепловой мощности изменяется не только количество вводимых газов, но и количество газов, участвующих в теплообмене, что приводит к изменению условий теплоперехода по поверхности изделий и, как следствие, нарушению равномерности нагрева.

Вторую тепловую схему чаще всего обеспечивают путем поддержания расхода воздуха постоянным на некотором максимально допустимом уровне в течение всего цикла термообработки.

На сегодня сложилось мнение, что увеличение расхода воздуха, подаваемого в печь для горения, способствует окислению металла, обезуглероживанию, и, как следствие, снижению технико-экономических показателей. Однако, результаты исследований последних лет несколько опровергают такое мнение [3]. Хотя данная работа выполнена применительно к высокотемпературным печам, многие ее выводы интересны и для термических печей. Так, при сжигании топлива с большим коэффициентом расхода воздуха ($\alpha = 1 \dots 4$) атмосфера в пламенной печи по своему химическому составу близка к атмосфере электрических печей сопротивления, где обезуглероживание и окисление значительно меньше. Существует пороговое значение концентрации кислорода в атмосфере печи, выше которого дополнительный свободный кислород не влияет на угар стали. При этом оказывается возможным осуществить малоокислительный нагрев. Экспериментально установлено, что наиболее интенсивное окисление металла происходит при коэффициенте расхода воздуха $\alpha = 1,1$. В воздушной среде угар стали 10 меньше в 1,8 раз, сплава ВТ1-0 – в 5 раз. Для стали 10 при

увеличении коэффициента расхода воздуха с 1,1 до 4,5 угар металла уменьшается в 1,5...1,7 раза.

Поскольку в продуктах горения отсутствует монооксид углерода, то не требуется дополнительная герметизация печи, а также установка устройств для дожигания продуктов неполного сгорания газообразного топлива.

Вторую тепловую схему применяют при многоступенчатых температурных графиках. Теплоотдача от греющих газов к изделию в основном определяется температурой печи.

В зависимости от используемой тепловой схемы и типа горелочных устройств изменяется и способ регулирования горения. Так, при первой схеме расход воздуха должен изменяться в соответствии с расходом топлива, для чего в системе автоматического регулирования применяют регуляторы соотношения «топливо-воздух» или спаренные газоздушные дроссели.

При работе по второй схеме расход воздуха, подаваемого непосредственно в горелочные устройства или в печные инжекторы для создания рециркуляции газов, должен поддерживаться постоянным, в системе обязательно наличие регулятора расхода воздуха.

Возможно применение комбинированной тепловой схемы, при которой в начальные периоды нагрева расход воздуха изменяется в соответствии с расходом топлива, а в конце данного периода и в период выдержки поддерживается постоянным.

Технология стадийного сжигания топлива [4]. Первоначально эту технологию использовали на энергетических котельных установках с целью снижения выбросов в атмосферу канцерогенных оксидов азота. В дальнейшем данная технология получила распространение на нагревательных и термических печах.

Сущность технологии стадийного сжигания состоит в организации распределенного горения топлива в пространстве рабочей камеры за счет рассредоточенного ввода воздуха по длине газового потока и технически решается путем разрегулирования по коэффициенту расхода воздуха горелочных устройств и установкой воздушных сопел. При этом создаются конструктивно или газодинамически разделенные зоны, в которых горение происходит при недостатке или избытке воздуха, то есть так называемые зоны «нестехиометрического» сжигания. Воздух для дожигания продуктов неполного сгорания газообразного топлива вводят при помощи специальных сопел. Двухстадийное сжигание топлива с целью снижения температуры продуктов горения применяют и в выносных топках рециркуляционных термических печей, где процессы горения и смесеобразования разделены. Основное достоинство данной технологии заключается в возможности выравнивания температурного поля вдоль газового потока, а при переходе к объемному сжиганию – во всем объеме, а также возможности реализации малоокислительного нагрева металлических изделий.

При его практическом использовании приходится решать ряд проблем:

- дожигание продуктов неполного сгорания топлива, образующихся в зонах подстехиометрического горения и поступающих в зоны надстехиометрического сжигания, то есть сжигание высокотемпературного топлива в потоке;
- обеспечение эффективной теплоотдачи от продуктов горения к изделиям;
- уменьшение сажеобразования, приводящего к зашламливанию дымовых каналов, горелочных устройств, а также загрязнению поверхности изделий.

Во многих случаях в пламенных камерных печах конструктивно и технически не удастся организовать пространственно-распределенные зоны дожигания топлива, подвод вторичного воздуха, смешение его с греющими газами.

В печах с протяженной траекторией движения продуктов горения факельное сжигание возможно перевести в объемное как разновидность и развитие стадийной технологии. Переход к объемному горению возможно осуществить путем постепенного подмешивания вторичного воздуха к продуктам недожога после первой стадии сжигания в факеле с недостатком воздуха. Так, известен способ отопления термических колодцев [5], согласно которому дожигание производят за счет регулируемого подсоса атмосферного воздуха, при этом обеспечивается технологически достаточная равномерность распределения температуры по высоте колодца.

Существующие системы управления не могут обеспечить нормальный режим работы печей, сдерживая тем самым широкое распространение данной технологии отопления.

Объемно-регенеративное сжигание топлива [6,7]. В настоящее время в Украине и за рубежом на плавильных, нагревательных и термических печах внедрено более тысячи регенеративных технологий отопления, позволившие сократить на 50 % потребление природного газа. В Украине (НМетАУ) на основе компактных шариковых регенераторов разработана принципиально новая объемно-регенеративная технология отопления печей. Сущность технологии состоит в том, что в зону горения подводят подогретые в регенераторах газ и воздух или газ и подогретый воздух, в процесс горения происходит в процессе их перемешивания. Технология в полном объеме апробирована на термической печи в режиме закалки на комбинате «Арселор-Митал» (Кривой Рог). Имеются положительные сведения по применению данной технологии в КНР на колпаковых печах [7]. Достигается технологически достаточная равномерность и стандартность нагрева садки, снижается окисление металла, достигается до 25...50 % экономия топлива.

Импульсное отопление печей [8]. Работы по теоретическому обоснованию и технической реализации технологии импульсного отопления металлургических, в том числе термических, начаты в 70-е годы прошлого столетия. Идея импульсного отопления заключается в том, что при управлении тепловой мощностью печи расход газа изменяется дискретно и может принимать только два предельных значения: максимальное, соответствующее наиболее благоприятному распределению газов в рабочей камере и минимально-допустимое по условию работы горелочных устройств и обеспечению рабочего давления в печи.

При технической реализации возникает ряд проблем по обеспечению устойчивой работы горелочных устройств при изменении производительности в широком диапазоне и, изменении коэффициента расхода воздуха. Большая часть из них на сегодня решена. Так, разработаны новые горелочные устройства с широким диапазоном регулирования по производительности [9]. Определен наиболее рациональный вариант формирования импульсов за счет перехода от непрерывного управления тепловой нагрузкой, применяемого при традиционных технологиях отопления, к релейному двухпозиционному управлению. При изменении температуры в печи изменяется длительность импульсов подачи топлива, таким образом, осуществляется широтно-импульсная модуляция газо-воздушного потока. Средняя по времени тепловая нагрузка определяется соотношением длительности импульса и паузы (скважностью), что устанавливает регулятор температуры в печи.

Существенным преимуществом данной технологии отопления служит то, что для ее внедрения не требуется вносить изменений в конструкцию печи. Достаточно заменить горелочные устройства, исполнительные механизмы на электро-пневмоклапаны и внести изменения в схему управления.

Отопление с отдельной подачей топливных газов [10]. Сущность такой технологии заключается в том, что два или более топливных газов подводят отдельно к горелочным устройствам, смешивают в оптимальном соотношении и далее смесь сжигается с заданным коэффициентом расхода воздуха. Управление тепловой мощностью, подводимой к печи, осуществляется одновременным воздействием на расходы газов и воздуха таким образом, чтобы обеспечить заданные температуру и объемный расход продуктов горения. Таким образом, оказывается возможным обеспечить необходимый температурный и газодинамический режимы в течение всего цикла термообработки.

Алгоритм управления представлен системой алгебраических уравнений, решение которых выполняется методом линейного программирования с оптимизацией по стоимости топлива [11].

При апробировании во время периодов нагрева и выдержки использовали смешанный газ, долю природного газа по ходу выдержки постепенно уменьшали и к концу данного периода сжигали только доменный газ, при переходе к охлаждению подключали дополнительный воздух. Таким образом, достигали уменьшения потребления природного газа, улучшение внешнего теплообмена за счет стабилизации объемного расхода печных газов в течение всего цикла термообработки. При этом расход природного газа за счет полной или частичной замены его доменным газом снизился на 70...80 %.

При технической реализации используют типовые системы регулирования расходов газа и воздуха, типовую систему регулирования давления и микропроцессорное вычислительное устройство.

Заключение.

1. На основании приведенного анализа литературных данных установлено, что существует достаточное количество технологий отопления, способных удовлетворить различные требования технологии нагрева в различных камерных печах.

2. Возможности всех технологий отопления определяются степенью соответствия систем управления требованиям технологии и условиям работы. С позиции уменьшения потребления природного газа целесообразно использование объемно-регенеративного способа сжигания топлива и отопления с отдельным подводом топливных газов и комбинированием их в процессе сжигания, а с позиции повышения качества тепловой обработки для протяженных печей можно рекомендовать стадийное или объемное сжигание, а также импульсное отопление.

3. Из-за наличия взаимосвязи регулируемых величин в печи согласование работы локальных систем регулирования теплотехнических параметров путем ручной установки заданий не обеспечивает постоянно возрастающих тренований по оптимизации тепловой работы печей. В связи с этим актуальным является переход к комплексным автоматизированным системам управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Губинский, В. И.* – Теория пламенных печей [Текст] / В. И. Губинский, У. Лу Чжун. – М. : Машиностроение, 1995. – 256 с. – Библиогр. : с. _____ – ISBN
2. *Пуговкин, А. У.* Рециркуляционные пламенные печи. Расчет конструирование [Текст] / А. У. Пуговкин. – Л. : Машиностроение, 1975. – 200 с. – Библиогр. : с₂
3. *Дистергефт, И. М.* Новый способ уменьшения угара, обезуглероживания и наводороживания металла при нагреве в пламенных печах [Текст] / И. М. Дистергефт // Сталь. – 2008. – № 1. – С. 86-93.

4. Шульц, Л. А. По следам разработки и внедрения печей со стадийным сжиганием топлива и перспективы их развития в металлургии [Текст] / Л. А. Шульц // Известия Вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 10. – С. 62-69.
5. Патент Украины № 21358 UA, МПК(2006), F 23 C 99/00 Спосіб опалення низькотемпературних газових камерних печей//Ревун М.П., Зинченко В.Ю., Лютий О.П. та ін. – Заявлено 08.09.06.Зареєстр.ДРПУ. 15.03.07,Бюл. № 3.
6. Ерёмин, А. О. Энергосберегающие системы отопления промышленных печей Украины [Текст] / А. О. Ерёмин // Печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии и машиностроении : труды IV междунар. науч.-практ. конф. 3-4 апреля 2008 г. Москва : МИСиС, 2008. – С. 167-174.
7. Хоу Чен Лян Современное состояние и перспективы развития высокопроизводительных регенеративных печей (ВРП) в КНР [Текст] / Хоу Чен Лян // Металлургическая теплотехника : сборник научных трудов НМетАУ. – Днепропетровск, 1999. – С. 195-199.
8. Новые схемы импульсного отопления нагревательных и термических печей [Текст] / М. П. Ревун, Е. Н. Барищенко, А. И. Чепрасов, С. В. Башлий // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2005. – № 3 (). – С. 97-100.
9. Разработка горелочного устройства для низкотемпературного отпуска специальных сталей в камерных термических печах [Текст] / М. П. Ревун, А. И. Чепрасов, В. В. Шаповаленко и др. // Металлургия : труды Запорожской государственной инженерной академии. – Запорожье : ЗГИА, 2003. – Вып. 7. – С. 104-108.
10. Патент Украины № 16114 UA, МПК (2006), F 23 C 99/00 Спосіб опалення камерних газових печей / Ревун М.П., Зінченко В.Ю., Лютий О.П. та ін. – Заявлено 27.02.06. Зареєстр.ДРПУ17.07.06, Бюл. № 7.
11. Ревун, М. П. Оптимизация низкотемпературного нагрева в пламенных печах [Текст] / М. П. Ревун, В. Ю. Зинченко, А. Н. Андриенко // Теория и практика металлургии. – 2005. – № 1-2 (). – С. 60-63.