

И.Н.Краснокутская, В.Г.Рыжков

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ КАМЕРНЫХ ПЕЧАХ

Запорожская государственная инженерная академия

Виконано аналіз головних перспективних напрямів вдосконалення теплової роботи низькотемпературних нагрівальних і термічних печей з метою енерго- і ресурсозберігання, а також підвищення якості теплової обробки металу.

Выполнен анализ основных перспективных направлений совершенствования тепловой работы низкотемпературных нагревательных и термических печей с целью энерго- и ресурсосбережения, а также повышения качества тепловой обработки металла.

Повышение цен на энергоносители вызывает необходимость поиска путей экономии топлива, а, следовательно, и прогрессивных энергосберегающих технологий.

На предприятиях металлургии и машиностроения Украины широкое распространение получили камерные нагревательные и термические печи, отапливаемые природным газом. Обладая большой универсальностью с точки зрения сортамента нагреваемых изделий и режима нагрева, данные агрегаты имеют и ряд существенных недостатков: большие тепловые потери с уходящими дымовыми газами, неравномерность нагрева садки, высокий угар металла при нагреве [1]. Кроме того, термические камерные печи характеризуются существенными затратами теплоты на разогрев кладки, что связано с периодичностью работы, обусловленной заданным графиком нагрева. Обследование печного хозяйства металлургических заводов Украины показало, что удельные расходы топлива в отечественных печах значительно выше по сравнению с зарубежными агрегатами.

На сегодняшний день к работе нагревательных и термических камерных печей предъявляют требования, которые включают в себя:

- обеспечение заданной производительности;
- обеспечение качественного нагрева, то есть удовлетворение требований по структуре и механическим свойствам металла, а также по степени окалинообразования и обезуглероживания;
- эффективное использование топлива, характеристикой которого служит удельный расход энергии на одну тонну продукции;
- соответствие экологическим нормам по предельно допустимому выбросу в атмосферу вредных газов: CO , CO_2 , NO_x , SO_2 , $C_{20}H_{12}$;
- механизация труда при эксплуатации и ремонте печи и автоматизация ее теплового режима.

На первый план при конструировании печей выдвигается требование эффективного использования топлива и других ресурсов, то есть проблема энерго- и ресурсосбережения [2].

К основным способам экономии энергии в промышленных печах следует отнести:

- повышение коэффициента использования теплоты топлива (КИТ) в рабочем пространстве печи [3];
- снижение потерь теплоты из рабочего пространства печи через футеровку и окна в окружающую среду, а также на разогрев футеровки до рабочей температуры;
- уменьшение теплового дефицита металла, то есть количества теплоты, которое необходимо расходовать для нагрева металла от начальной до конечной температуры.

При этом остаются не менее актуальны вопросы совершенствования управления температурными полями в печах, движением греющих газов и оптимизация управления тепловой работы.

Для повышения КИТ применяют следующие мероприятия:

- уменьшение объема продуктов сгорания на единицу топлива с помощью обогащения воздуха кислородом, путем повышения теплоты сгорания топлива, а также путем полного сжигания топлива при минимальном избытке воздуха;
- уплотнение рабочего пространства и регулирование давления газов в печи с целью устранения подсосов атмосферного воздуха;
- утилизация теплоты уходящих печных газов и возврат ее в печь с нагретыми в рекуператорах или в регенераторах компонентами горения.

Во всех случаях КИТ будет зависеть от температуры и объема газов, покидающих рабочее пространство печи:

$$\dot{E} = 1 - \frac{V_{\delta} \cdot C_{\delta} \cdot t_{\text{yx.атм}}}{Q_i^{\delta}}, \quad (1)$$

где V_{δ} - удельный объем продуктов горения на единицу топлива, $\text{м}^3/\text{м}^3$; C_{δ} - удельная объемная теплоемкость продуктов горения, $\text{кДж}/\text{м}^3$; $t_{\text{yx.атм}}$ - температура газов в канале перед дымовой трубой, $^{\circ}\text{C}$; Q_i^{δ} - теплота сгорания топлива, $\text{кДж}/\text{м}^3$.

Потери теплоты из рабочего пространства имеют место в любых печах, но они особенно существенны в нагревательных и термических печах циклического действия, когда в цикл термообработки входит охлаждение печи до низкой температуры или когда такое охлаждение обусловлено длительными промежутками между циклами нагрева садки. Футеровка таких печей, выполненная из шамотного кирпича, поглощает примерно в три раза больше теплоты, чем садка металла. Уменьшение количества теплоты на разогрев футеровки достигается путем замены шамотных огнеупоров муллитокремнеземистыми волокнистыми плитами, производство которых налажено в Украине и Российской Федерации [2].

Уменьшение теплового дефицита металла на практике достигается путем повышения начальной температуры металла при посадке его в печь. Так называемый «горячий посад» возможен при сохранении в металле теплоты, полученной им в предыдущем переделе, в том числе теплоты кристаллизации слитков. Известно, что при температуре посадки 300...400 $^{\circ}\text{C}$ расход топлива уменьшается на 40% [2].

Наряду с энерго- и ресурсосбережением, печи завтрашнего дня должны обес-печить более высокое качество тепловой обработки металла. Качественный уровень продукции прокатного, кузнечно-прессового, литейного производства во многом зависит от точности выполнения требований технологии по температуре, равномерности и стандартности нагрева изделий. Температура нагрева характеризует достижение заданной температуры на поверхности изделия в момент выдачи его из печи. Равномерность нагрева оценивают величиной допустимого перепада температуры на поверхности изделия и по его поперечному сечению в момент выдачи из печи. Стандартность нагрева означает выполнение требования идентичности температуры и равномерности нагрева всех изделий, выдаваемых из печи.

Требования к температуре и равномерности нагрева по толщине изделия выполняют путем соответствующей выдержки металла при определенной температуре печи. Практика работы печей показывает, что для равномерного (по поверхности) и стандартного нагрева

изделий необходимо управлять полем температуры в объеме рабочего пространства печи с помощью циркуляции газов и условий сжигания топлива.

Средствами управления движением газов и сжиганием топлива с целью выравнивания температуры в камерных печах служат внутренняя и внешняя рециркуляция, реверсирование печных газов, регулируемое перемешивание топлива с воздухом путем пульсирующей подачи этих компонентов горения, перемещение факела в камере печи путем качания горелки или воздействия на факел струей компрессорного негорючего газа.

Организация интенсивной внутренней рециркуляции греющих газов вокруг садки обеспечивается за счет использования энергии высокотемпературных скоростных струй продуктов сгорания. Последние образуются при сжигании подготовленной газозвоздушной смеси в специальных горелках, называемых «скоростными» или «напорными». Струи продуктов сгорания поступают с высокой (до 100 м/с) скоростью в свободное пространство печи под садкой, через зазор между садкой и боковой стенкой присоединяют к себе часть печных газов, перемешиваются с ними в подсадочном пространстве и готовая смесь греющих газов движется далее по зазору между садкой и футеровкой печи к корню струи продуктов сгорания и к дымоотводу.

Количество греющих газов, циркулирующих в рабочем пространстве печи, пропорционально величине кратности рециркуляции:

$$\hat{E} = \frac{V_1 + V_2}{V_1}, \quad (2)$$

где V_1 - количество свежих порций продуктов сгорания; V_2 - количество печных газов, присоединенных к струе.

Величина кратности рециркуляции определяется допустимой неравномерностью нагрева и колебаниями тепловой мощности: чем выше требуемая равномерность нагрева и шире интервал колебания тепловой мощности, тем более высокие значения кратности рециркуляции необходимо обеспечить [1].

Однако основным недостатком нагревательных и термических камерных печей является трудность обеспечения равномерного распределения температуры в рабочем пространстве. Процесс выравнивания температуры происходит при непрерывно уменьшающихся тепловых потоках на поверхности изделий как за счет изменения температурного напора, так и изменения коэффициента теплоотдачи при изменении расхода, а, следовательно, и скорости греющих газов [4].

Как указывалось выше, оптимизирование температурного поля возможно путем улучшения перемешивания греющих газов при увеличении их скорости до установления режима течения автомодельной области при числе Рейнольдса $Re \geq 5 \cdot 10^3$ [5]. Однако нерешенной остается задача стабилизации внешней рециркуляции при уменьшении расхода топлива.

Перспективным для печей может быть импульсный метод отопления, позволяющий при уменьшенных тепловых нагрузках сохранить максимальные мгновенные расходы греющих газов, а, следовательно, их скорости и перемешивания [4].

Для нагревательных и термических камерных печей весьма актуальной является задача перехода от факельного сжигания топлива к распределенному по объему печи, то есть объемному сжиганию топлива [3]. Введение в рабочее пространство печи топливозвоздушных смесей порциями с последовательно чередующимися коэффициентами расхода воздуха 0,5...0,8 и 1,3...1,6 [6] распределяет тепловую мощность во времени и пространстве, то есть осуществляется переход от факельного сжигания к объемному. Вопросы использования объемного сжигания топлива в нагревательных и термических

камерных печах еще требуют своего конструктивного решения и технологического обоснования.

Реализация на промышленной печи способа воздействия на рециркуляцию, основанного на частичном перекрытии канала выхода перемещающейся или поворачивающейся заслонки, представляет большие трудности, так как температура греющей смеси даже в термической печи нередко превышает 1000 °С. Металлическая конструкция заслонки при такой температуре требует дополнительного водяного охлаждения, что существенно усложняет процесс термообработки и требует дополнительного водного хозяйства.

Поиски путей решения упомянутых проблем привели к разработке способа струйного управления рециркуляцией. В этом способе изменение кратности рециркуляции осуществляют при помощи регулирующей струи, направленной навстречу продуктам сгорания соосно соплу горелки (так называемая противоборствующая струя).

При воздействии управляющей струи возможно изменение направления движения газов в центральном и выходном канале на противоположное, а также различные сочетания направлений движения (рис.1). Управление рециркуляцией при помощи противоборствующей струи так же, как и при помощи заслонки, позволяет подводить подготовленный теплоноситель к наиболее отстающему в процессе нагрева участку садки – центральному.

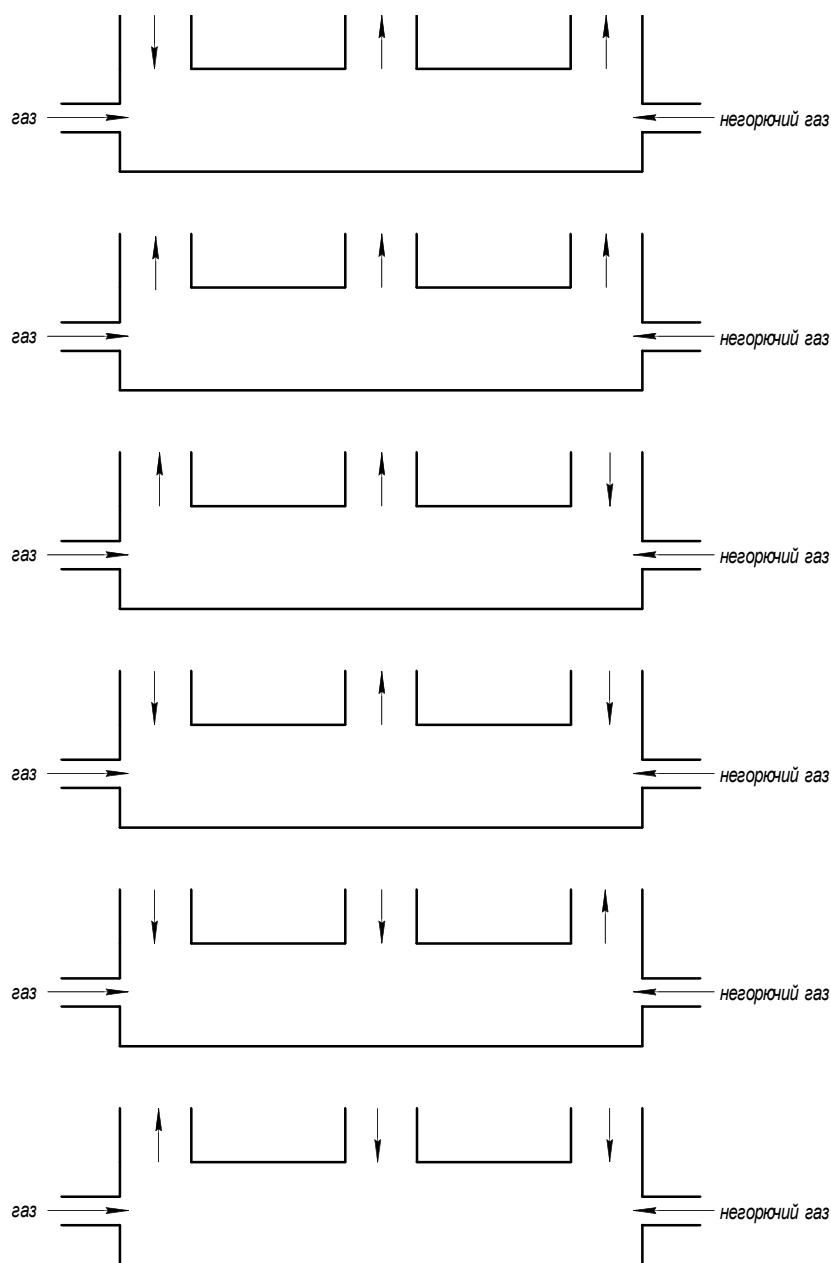


Рисунок 1 – Схемы движения газов при струйном управлении рециркуляцией

Центральная зона, образованная заготовками или пакетами проката, в отличие от внешних проточных зон (между боковыми сторонами садки и стенками печи), является наибольшим потребителем полезной теплоты. Скорость нагрева садки, равномерность ее нагрева, производительность печи определяются подводом теплоты именно к этому участку садки [7].

Заключение. Сокращение энергопотребления в нагревательных и термических камерных печах металлургии и машиностроении возможно за счет:

- повышения КИТ при глубокой утилизации теплоты уходящих газов, в частности с применением малогабаритных регенераторов;
- минимизации потерь теплоты на разогрев футеровки и через элементы конструкции печей в окружающую среду путем использования огнеупорных и теплоизоляционных волокнистых изделий;
- повышения начальной температуры металла при посадке его в печь;

– высокой равномерности нагрева изделий на основе управления процессами движения газов при воздействии управляющей струи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пилипенко Р.А.* Интенсификация тепловой работы камерных печей, отапливаемых природным газом / *Металлургическая теплотехника* (Сб. науч. трудов НМетАУ). - Днепропетровск: НМетАУ, 2002. - Т.8. - С.99-105.
2. *Губинский В.И.* Нагревательные печи металлургии - сегодня и завтра // *Теория и практика металлургии*. - 2004. - № 6. - С.56-60.
3. *Губинский В.И.* Актуальные задачи реконструкции нагревательных печей / *Металлургическая теплотехника* (Сб. научн. трудов НМетАУ). - В двух книгах. - Книга первая. - Днепропетровск: НМетАУ, 2005. - С.149-156.
4. *Ревун М.П., Зинченко В.Ю.* Перспективные направления совершенствования тепловой работы нагревательных и термических камерных печей / *Металлургическая теплотехника* (Сб. науч. трудов НМетАУ). - Днепропетровск: НМетАУ, 2006. - Т.6. - С.294-302.
5. *Пуговкин А.У.* Рециркуляционные пламенные печи. Расчет и конструирование. - Л.: Машиностроение, 1975. - 200 с.
6. А.С. № 1133457 (СССР). *Кригульский И.И., Губинский В.И., Якименко Г.С. и др.* Способ отопления промышленных печей. - 1985. - Бюллетень № 1.
7. *Рыжков В.Г.* Исследование и разработка технических средств подготовки теплоносителя, обеспечивающих снижение тепловых и газообразных выбросов: Автореферат дисс. канд. техн. наук. - Запорожье: ЗИИ, 1994. - 20 с.

Стаття надійшла до редакції 16.12.2008 р.

Рецензент, проф. М.П.Ревун