

6. Мاستрюков В.С. Теория, конструкция и расчеты металлургических печей / В.С. Мастрюков. - М: Металлургия, 1986. - Т.2. -376 с.
7. Тепломассообмен / С.И. Гинкул, В.И. Шелудченко, В.В. Кравцов, С.В. Палкина. - Донецк: Норд-Пресс, 2006 – 298с.

Поступила в редакцию 30.06.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.В. Кравцов

© Гинкул С.И., Лебедев А.Н., Подобед Ю.В.,
Сапронова Ю.М., 2010

УДК 621.783.223

В.В. Кравцов, А.Б. Бирюков, И.И. Демир

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА НАГРЕВА В ПРОХОДНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

В статье было рассмотрено применение нового оптимального энергосберегающего режима нагрева металла в проходных печах, целью которого является уменьшение энергозатрат при нагреве металла в нагревательных проходных печах. Приведен новый алгоритм расчета энергосберегающего режима нагрева и представлены сравнительные данные стандартного и нового режимов нагрева.

Ключевые слова: импульсная подача, волнообразные колебания, комбинированное отопление, оптимальный температурный режим.

Введение

Украина – энергодефицитное государство. Собственными ресурсами оно обеспечивает свои потребности всего на 53%. Черная металлургия — одна из наиболее энергоемких отраслей промышленности Украины. Доля затрат на топливо в общих заводских затратах на производство продукции составляет более 30 %. На сегодняшний день существует значительный моральный и физический износ основного оборудования и наблюдается существенная неритмичность работы металлургических предприятий, связанная с особенностью современного рынка продукции. Эти два фактора в основном определяют значительную часть потерь при производстве. Высокая энергоемкость металлургических производств при постоянном росте цен на топливо ставит на одно из первых мест проблемы энерго- ресурсосбережения. Одним из наиболее крупных потребителей топлива в металлургии является прокатное производство.

Нагревательные печи относятся к основному оборудованию прокатных цехов. От их работы в значительной степени зависят объем, качество и экономичность производства проката. В большинстве случаев ошибки, возникающие при нагреве металла, уже не могут быть исправлены.

Проходные печи методического типа, работающие на заводах Украины, проектировались больше 20 лет назад с основным требованием – обеспечить максимальную производительность. Температурные режимы рассчитывали также на максимальную производительность. Эксплуатировать печь таким способом экономически целесообразно только в том случае, если производительность изменяется в узком диапазоне. В реальных условиях печи работают при значительных изменениях производительности. Одним из способов уменьшения расхода топлива является использование нового, энергосберегающего, теплового режима. Особенно это важно для эксплуатации печи в условиях нестабильного производства при дорогостоящих энергоресурсах.

Теоретические положения и алгоритм расчета

Установлено, что минимальные значения расхода топлива и температуры уходящих продуктов горения имеют место при изменении средне-массовой температуры металла по прямой в координатах: температура металла, температура дыма - время его нагрева [1]. Т.е можно сказать о том, что при минимальном значении температуры продуктов горения получаем минимальное значение расхода топлива, при этом получаем линейное возрастание температур металла. Это вполне логично если рассмотреть два режима нагрева металла $q=\text{const}$ и $t_d=\text{const}$ (рисунок 1 и рисунок 2).

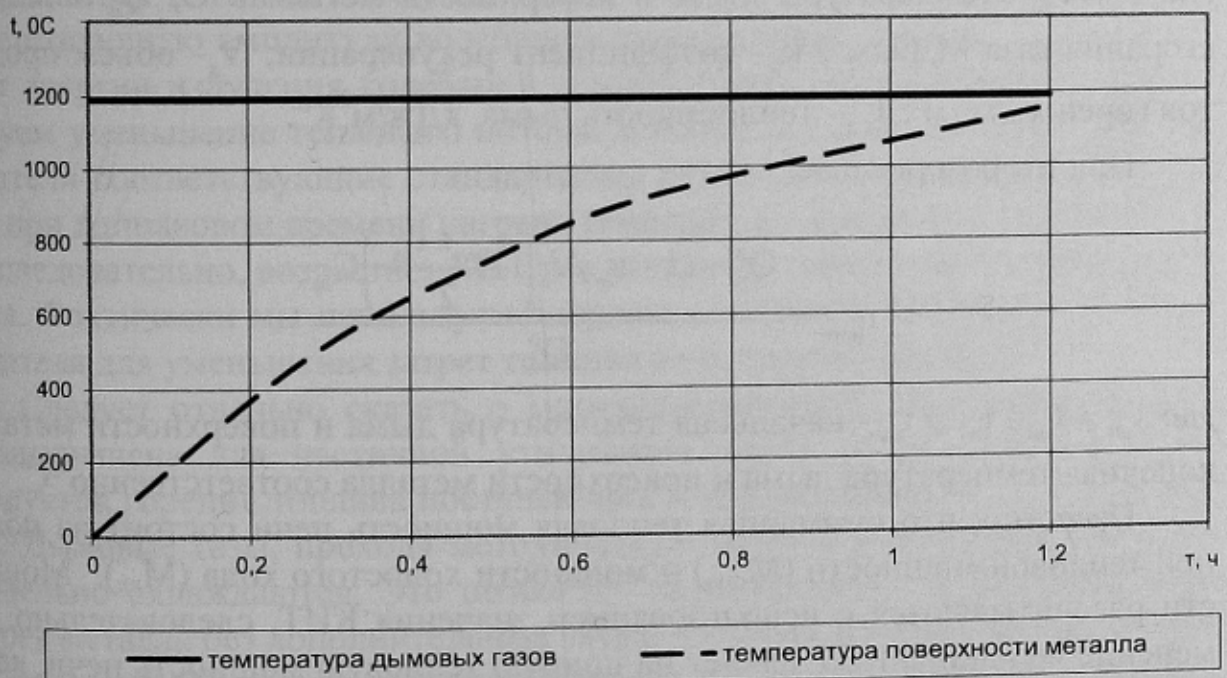


Рисунок 1 – Температурная диаграмма для режима $t_d=\text{const}$



Рисунок 2 – идеальная температурная диаграмма для режима $q=\text{const}$

При первом режиме:

$$\eta_{\text{КИТ}} = \frac{Q_n^p - (1 - \kappa_p) V_d t_d C_d}{Q_n^p} \quad (1)$$

где $t_d \approx t_{\text{пм}}$ - температуры дыма и поверхности металла, $^{\circ}\text{C}$; Q_n^p - теплота сгорания газа $\text{МДж}/\text{м}^3$; κ_p - коэффициент рекуперации; V_d - объем продуктов горения, $\text{м}^3/\text{м}^3$; C_d - теплоемкость дыма, $\text{кДж}/\text{м}^3\text{K}^{\circ}$.

При втором режиме:

$$\eta_{\text{КИТ}} = \frac{Q_n^p - (1 - \kappa_p) V_d \left(\frac{t_{\text{дн}} + t_{\text{дк}}}{2} \right) C_d}{Q_n^p} \quad (2)$$

где $t_{\text{дн}} \approx t_{\text{пн}}$, $t_{\text{дк}} \approx t_{\text{пк}}$ - начальная температура дыма и поверхности металла, конечная температура дыма и поверхности металла соответственно $^{\circ}\text{C}$.

Известно, что суммарная тепловая мощность печи состоит из полезной тепловой мощности ($M_{\text{пол}}$) и мощности холостого хода ($M_{\text{хх}}$). Мощности рассчитываются с использованием значения КИТ, следовательно, изменение величины КИТ влияет на полную тепловую мощность печи, которая впоследствии определяет значение КПД и расход топлива. Полученные в результате расчетов значения свидетельствуют от том что режим $q=\text{const}$ (при этом же режиме t_d имеет минимальное значение) более эффективен с точки зрения экономии топлива. Недостатком при этом является значительная продолжительность нагрева и высокая окисленность металла.

Данный вывод был использован нами для разработки и внедрения оптимального энергосберегающего режима нагрева металла в проходных печах.

Именно таким режимом является перевод работы печи на комбинированное отопление, включающее постоянный расход газа и волнообразный согласованный с изменением газодинамического сопротивления в дымоотводящем тракте печи.

При использовании волнообразного нагрева за счет периодической пульсации давления и скорости теплоносителя в рабочей камере печи происходит возрастание значений тепловых потоков. Применение пульсации увеличивает коэффициент использования тепла топлива, снижает температуру дымовых газов за счет увеличения их коэффициента теплоотдачи, покидающих рабочее пространство, и за счет этого снижает расход топлива. Изменение давления и скорости теплоносителя a , следовательно, интенсификация теплообмена, происходит не только в рабочей камере, но и в рекуператоре агрегата.

За счет интенсификации теплообмена в рекуператоре возможен подогрев воздуха до более высоких температур, либо до тех же значений при меньшей температуре поступающих в рекуператор средних по значению температуры дымовых газов.

В данном режиме снижается температура дыма, ее значение приближается к температуре поверхности металла. При этом естественно должен уменьшаться тепловой поток к поверхности металла, однако подобрав соответствующую амплитуду колебаний температуры теплоносителя, мы, за счет энергии излучения колебаний температуры теплоносителя компенсируем уменьшение теплового потока. В итоге получаем аналогичные показатели соответствующие стандартному режиму нагрева металла. Но так как при одинаковом времени нагрева температура дымовых газов снижается, следовательно, возрастает КИТ и в результате сокращается расход топлива. Фактически мы используем энергию колебаний температуры теплоносителя для уменьшения затрат топлива на нагрев металла [2].

Следует отдельно сказать о методической зоне. Методическая зона предназначена для частичной утилизации тепла высокотемпературных продуктов горения топлива поступающих в нее из сварочной и томильной зон. Дымовые газы, проходя методическую зону, нагревают металл и параллельно охлаждаются. Это позволяет на начальном этапе производить нагрев металла без дополнительных затрат топлива. Вследствие отсутствия в методической зоне горелок максимальная амплитуда колебаний теплоносителя при импульсном нагреве достигается в начале сварочной зоны. При движении дымовых газов через методическую зону наблюдается как понижение температуры продуктов горения, так и уменьшение амплитуды колебаний температуры теплоносителя. Амплитуда колебаний отражает количество энергии, которое создается за счет колебаний теплоносителя.

Уменьшение амплитуды колебаний обусловлено тем, что при продвижении через методическую зону энергия колебаний расходуется в той же степени что и тепло дымовых газов, следовательно, амплитуда также уменьшается.

Для определения температуры продуктов горения и амплитуды колебаний теплоносителя при входе заготовок в печь задались двумя крайними случаями. Первый – в процессе передачи тепла металлу в методической зоне расходуется только энергия колебаний теплоносителя. Второй – тепло к металлу в методической зоне передается только за счет тепла дымовых газов. При этом получили значения температуры и амплитуды для двух точек. Так как энергия колебаний и тепло теплоносителя расходуются одновременно то, взяв среднее значение амплитуды и температуры между этими двумя точками, получим необходимые нам значения для начала методической зоны.

Алгоритм расчета оптимального температурного режима нагрева металла сводится к следующему:

1. По стандартной методике производится расчет существующего температурного режима с целью определения температур по сечению заготовки, тепловых потоков к поверхности металла в каждом сечении, общего расхода газа, расхода газа по зонам, производительности печи и времени нагрева.
2. Производится сравнение расчетных параметров с технологическими параметрами.
3. Если расчетные параметры совпадают с технологическими, т.е. примерно одинаковы общий расход газа, расход газа по зонам, расчетные конечные параметры нагреваемого металла и производительность, определяют оптимальный температурный режим нагрева металла, при котором удельный расход газа будет меньше, чем при существующем режиме.
4. Алгоритм разработанной программы позволяет в автоматическом режиме осуществлять подбор таких соотношений температур и амплитуд колебаний теплоносителя, которые обеспечили бы тепловые потоки к поверхности металла в каждом сечении соответствующие исходному стандартному режиму нагрева.
5. На основании вновь полученных данных КИТ производится расчет экономии топлива.
6. Вносятся поправка в общий расход газа, расход газа по зонам постоянного и переменного расходов газа на величину полученной экономии.

На рисунке.3 представлено изменение температур заготовки и печи в течение нагрева при использовании импульсного нагрева

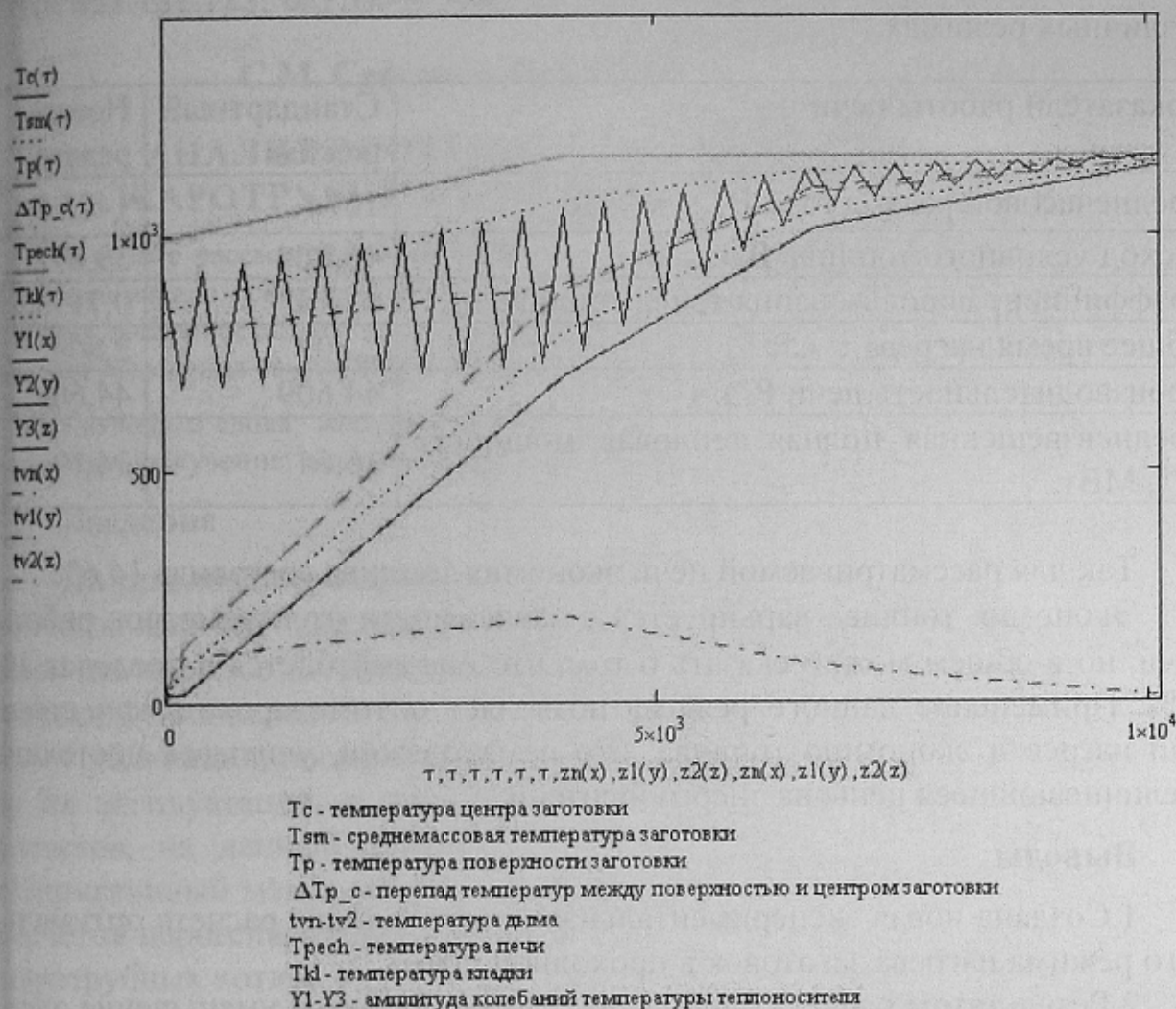


Рисунок 3 – Диаграмма распределения температур заготовки и печи в процессе импульсного нагрева

Результаты экспериментов

Таким образом, на основании такого алгоритма разработана программа в системе Mathcad расчета температурного режима нагрева металла, позволяющая осуществлять качественный нагрев металла с минимально возможным расходом топлива, как для эксплуатируемых печей, так и для вновь проектируемых и строящихся печей.

При помощи разработанной программы был произведен расчёт режима нагрева заготовок в проходной нагревательной печи прокатного стана, в которой производится нагрев заготовок квадратного сечения 130x130x3600 до температуры 1160 °С. Расположение заготовок двухрядное, число заготовок одновременно находящихся в печи 262, садка печи 125 т. Печь отапливается природным газом. Результаты расчётов приведены в таблице

Таблица – Показатели работы печи при одностороннем нагреве при различных режимах.

Показатели работы печи	Стандартный режим	Новый режим
Среднечасовой расход газа $V_{\text{газа}}^{\text{ср}}$, м ³ /час	1674	1425,6
Расход условного топлива $V_{\text{ус.т}}$, кг/т	45,824	39,092
Коэффициент использования тепла топлива $\eta_{\text{кит}}$	0,614	0,719
Общее время нагрева τ , час	2,809	2,809
Производительность печи P , т/ч	44,609	44,609
Средневзвешенная полная тепловая мощность $M^{\text{ср}}$, МВт	16,64	14,19

Так для рассматриваемой печи экономия топлива составила 14,6%.

Экономия топлива варьируется в зависимости от параметров работы печи, но в общем можно сказать о том, что она колеблется в пределах 10-27%. Применение данного режима позволяет оптимизировать качественный нагрев и экономию топлива, что немаловажно, учитывая постоянно увеличивающиеся цены на энергоносители.

Выводы

1. Создана новая экспериментальная программа для расчета оптимального режима нагрева заготовок в проходной печи.

2. Результатом расчета данной программы является уменьшение энергозатрат при нагреве металла в нагревательных проходных печах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов М.А. Разработка конструкций энергосберегающих нагревательных печей / М.А. Денисов // Сталь. – 2005. - № 1. – С. 61-63.
2. Лисиенко В.Г. (ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ») О реализации оптимальных режимов термической обработки в камерных печах современной конструкции при условии массивности садки / В.Г.Лисиенко, К.А.Сурганов // Электронный журнал «Исследовано в России». - 2006. - С. 2545-2554

Поступила в редакцию 11.10.2010

Рецензент д-р техн.наук, проф. А.Н. Смирнов

© Кравцов В.В., Бирюков А.Б., Демин И.И., 2010