

*д.т.н. Кравцов В.В.,
к.т.н. Бирюков А.Б.,
Черников С.С.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Розглянуто застосування нового оптимального енергозберігаючого режиму термічної обробки металу в камерних термічних печах. Наведено алгоритм розрахунку, представлені порівняльні дані стандартного і нового режимів термообробки.

***Ключові слова:** термічна піч, термічна обробка, пульсуюча подача теплоносія, хвилеподібні коливання температури, вирівнювання, ізотермічна витримка, економія палива.*

Рассмотрено применение нового оптимального энергосберегающего режима термической обработки металла в камерных термических печах. Приведен алгоритм расчета, представлены сравнительные данные стандартного и нового режимов термообработки.

***Ключевые слова:** термическая печь, термическая обработка, пульсирующая подача теплоносителя, волнообразные колебания температуры, выравнивание, изотермическая выдержка, экономия топлива.*

Применение технологии энергосбережения в промышленности всегда актуально. Это связано с тем, что в промышленности расходуется до 80 % энергии. Стоимость энергоносителей постоянно растет, особенно в последнее время. Учитывая высокую степень энергопотребления при эксплуатации печей, термического оборудования, особо актуальным представляется вопрос об осуществлении жёсткой экономии энергии путём применения технологий энергосбережения, новых материалов и конструкций при строительстве новых печей и реконструкции действующего термического парка. Энергоемкость продукции машиностроения в Украине в 3 – 5 раз больше, чем в развитых странах.

Термические нагревательные печи, работающие на заводах Украины, проектировались больше 20 лет назад с основным требованием – обеспечить максимальную производительность, невзирая на энергозатраты. Температурные режимы рассчитывали также на максимальную производительность. 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.

В настоящее время одной из основных проблем, стоящих перед металлургической отраслью является общая изношенность фондов. Еще очень часто продолжают эксплуатироваться агрегаты 50–60-х гг устаревшие как морально, так и физически. Это обуславливает применение технологий, не обеспечивающих должного качества продукции, что в конечном итоге приводит к ее низкой рентабельности. Повышение требований к качеству металла, экологии производства, ужесточение экономических показателей диктуют необходимость совершенствования технологий и оборудования.

Примером внедрения современных технологий является камерная термическая печь с выкатным подом $3,9 \times 10,5$ м и садкой 180 т, установленная на ЗАО «НКМЗ». Применение принципа пульсирующей подачи теплоносителя, использование малоинерционной футеровки и современных средств автоматизированного управления позволяет добиваться значительной экономии топлива и реализовывать режимы термической обработки ранее не доступные для печей такого типа.

Модернизированная печь предназначена для термообработки тел различной формы и массивности садкой до 180 т. Термообработка проводится для снятия внутренних напряжений, получения однородной микроструктуры и растворения включений, для выделения частиц упрочняющей фазы. А так как структура стали после термической обработки оказывает большое влияние на работоспособность изделий, то разница в структуре между элементами садки должна быть незначительной и удовлетворять требованиям заказчиков и ГОСТ. Однородность же структуры достигается принятым режимом термообработки (согласно требованиям Центральной Заводской Лаборатории (ЦЗЛ)) и точностью обработки этого режима [1].

Принимаем, что в печь загружены прокатные опорные валки садкой 180 т. Таким образом, возникает задача построения математической модели камерной термической печи периодического действия и выбора с помощью построенной модели рационального графика термообработки, реализующего двухступенчатый режим отжига и двухступенчатый режим охлаждения с учетом массивности садки и особенностей печи.

Кратко остановимся на основных, существенных деталях проекта печи. Проектное задание включало термообработку опорных валков, которые имеют следующие характеристики: длина бочки – 2000 мм, диаметр бочки – 1500 мм, вид топлива – природный газ. Теплограждение стенок, свода и пода выполнено из керамоволокнистых теплоизоляцион-

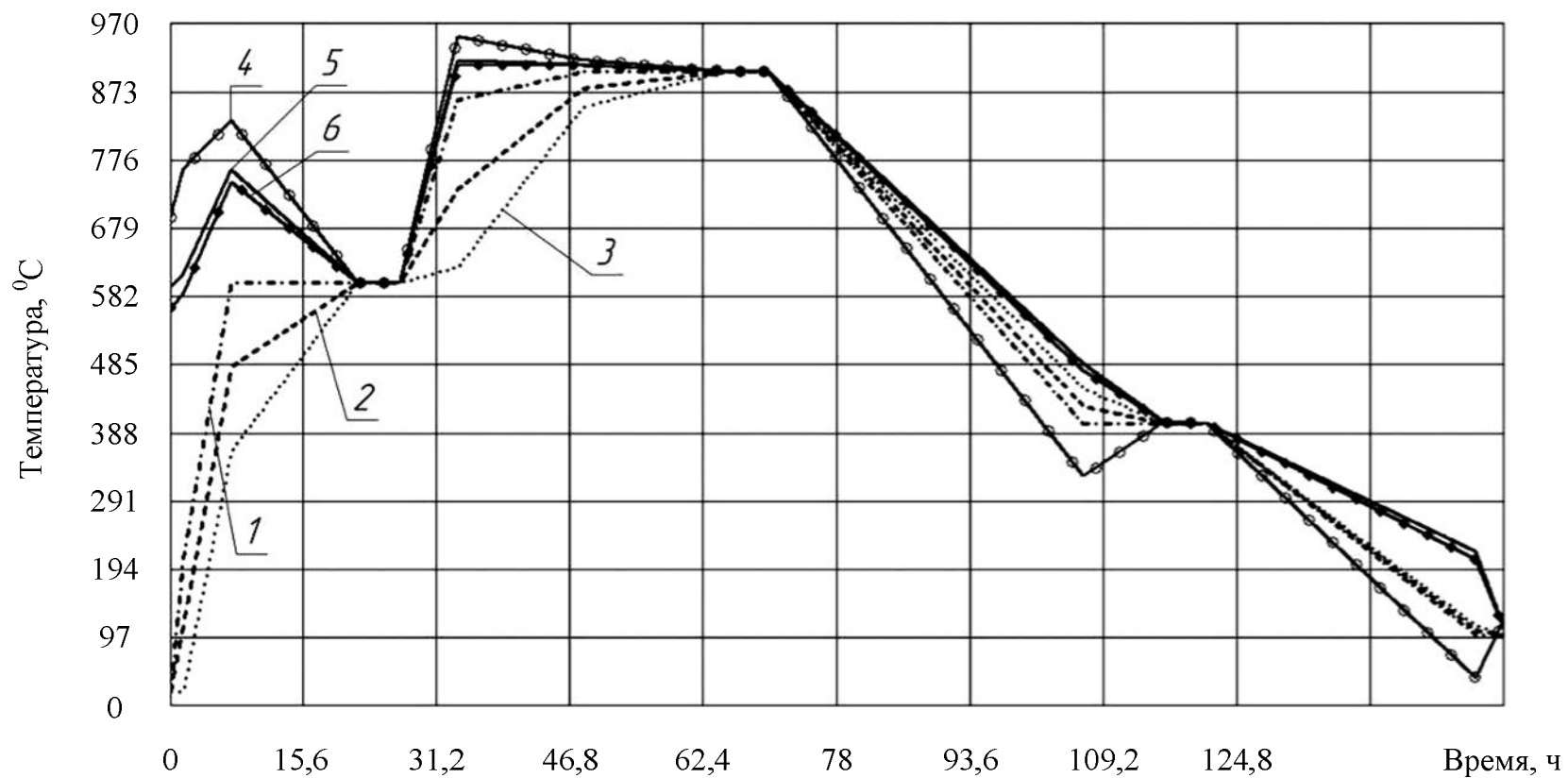
ных материалов с малой теплопроводностью и инерционностью. На рисунке 1 представлена температурная диаграмма процесса термической обработки опорных валков в термической печи с выкатным подом 3,9×10,5 м и садкой 180 т, установленной на ЗАО «НКМЗ».

Режим термообработки включает в себя:

1. Нагрев валков до 600 °С.
2. Выравнивание температурного поля по сечению валков до температуры 600 °С.
3. Отжиг валков при 600 °С.
4. Нагрев валков до 900 °С.
5. Выравнивание температурного поля по сечению валков до температуры 900 °С.
6. Отжиг валков при 900 °С.
7. Охлаждение валков до 400 °С воздухом нагревательных горелок.
8. Выравнивание температурного поля по сечению валков до температуры 400 °С.
9. Выдержка валков при температуре 400 °С.
10. Охлаждение валков до 100 °С воздухом нагревательных горелок.

Пульсирующая подача теплоносителя включает в себя постоянный расход газа и волнообразный (с помощью пульсатора), согласованный с изменением газодинамического сопротивления в дымовом тракте печи. При использовании волнообразного нагрева за счет периодической пульсации давления и скорости теплоносителя в рабочем пространстве печи происходит возрастание значений тепловых потоков. Применение пульсации увеличивает коэффициент использования тепла топлива, снижает температуру дымовых газов покидающих рабочее пространство за счет увеличения их коэффициента теплоотдачи, что способствует снижению расхода топлива. Изменение давления и скорости теплоносителя, а, следовательно, интенсификация теплообмена, происходит не только в рабочей камере, но и в рекуператоре агрегата. [2].

В данном режиме снижается температура уходящего дыма, ее значение приближается к температуре поверхности металла. При этом, естественно, должен уменьшаться тепловой поток к поверхности металла, однако, подобрав соответствующую амплитуду колебаний, за счет энергии излучения колебаний волнообразной температуры теплоносителя, компенсируется уменьшение теплового потока.



1 – температура поверхности опорных валков; 2 – среднemasсовая температура опорных валков;
 3 – температура центра опорных валков; 4 – температура дымовых газов; 5 – средняя температура кладки;
 6 – средняя температура печи.

Рисунок 1 – Температурная диаграмма процесса термической обработки опорных валков в камерной нагревательной печи с выкатным подом $3,9 \times 10,5$ м и садкой 180 т, установленной на ЗАО «НКМЗ»

Но при таком режиме нагрева температура дымовых газов снижается, следовательно, возрастает коэффициент использования тепла топлива (КИТ) и в результате сокращается расход топлива.

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 за весь период нагрева, темп нагрева и охлаждения, средний расход газа и воздуха за весь период нагрева, производительность печи, коэффициент полезного действия (КПД) печи, коэффициент использования тепла топлива (КИТ) в различные периоды времени термообработки.

2. Производится сравнение расчетных параметров с технологическими (требования ЦЗЛ).

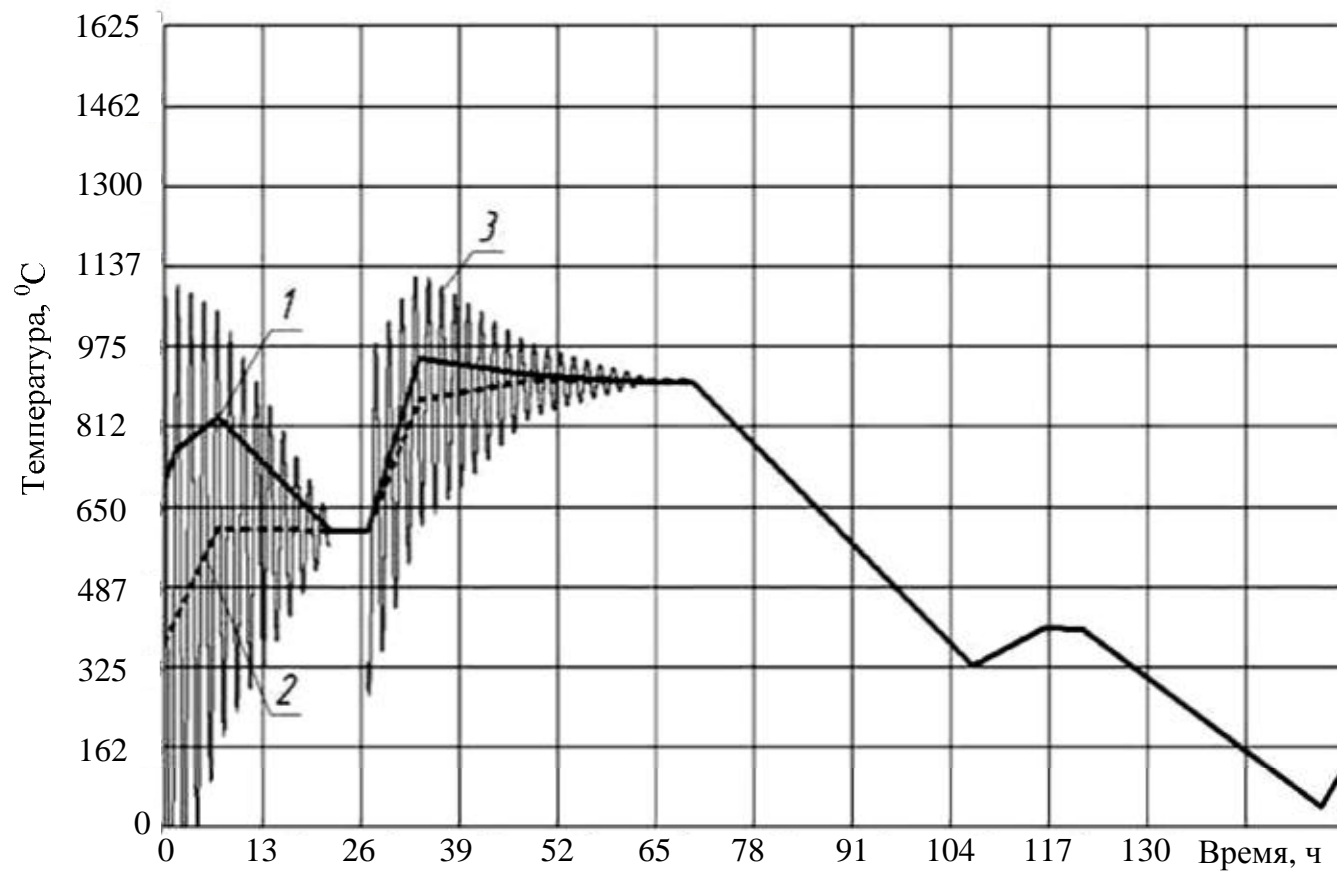
3. Если расчетные параметры совпадают с технологическими, определяется оптимальный температурный режим нагрева и выравнивания температуры металла, при котором удельный расход газа становится меньшим.

4. В автоматическом режиме осуществляется подбор таких соотношений температур и амплитуд колебаний теплоносителя, которые обеспечили бы тепловые потоки к поверхности нагреваемого металла в любом временном интервале, соответствующие исходному режиму нагрева.

5. На основании вновь полученных данных рассчитывается новый коэффициент использования тепла топлива (КИТ) и величина экономии топлива.

6. Вносится поправка в средний расход газа за весь период нагрева, производится расчет постоянного и волнообразного расходов газа, создаваемых с помощью пульсатора, на величину полученной экономии.

При помощи разработанной программы был произведен расчет основных параметров термической обработки опорных прокатных валков в камерной нагревательной печи с выкатным подом $3,9 \times 10,5$ м и садкой 180 т, установленной на ЗАО «НКМЗ». Результаты расчета приведены в таблице 1, а на рисунке 2 представлена диаграмма изменения температуры уходящих дымовых газов в течение термообработки опорных валков при использовании пульсирующей подачи теплоносителя и без нее.



1 – температура дымовых газов без использования импульсной подачи топлива; 2 - температура дымовых газов с использованием импульсной подачи топлива; 3 – амплитуда колебания температуры дымовых газов.

Рисунок 2 – Диаграмма изменения температуры уходящих дымовых газов в течение термообработки опорных валков при использовании пульсирующей подачи теплоносителя и без нее

На рисунке 2 видно изменение амплитуды волнообразной подачи теплоносителя в рабочее пространство печи (в начале нагрева амплитуда максимальная, а потом постепенно уменьшается до 0). Это связано с тем, что вначале идет максимальная подача газа и воздуха, а по мере достижения заданного температурного состояния, расход газа и воздуха уменьшается. Во время выравнивания газ дополнительно затрачивается, в то время как для изотермических выдержек заготовок мы пренебрегаем затратами теплоносителя на поддержание температурного состояния печи, т.к. они малы.

Таблица 1 – Показатели работы печи при использовании пульсирующей подачи теплоносителя в рабочее пространство печи и без нее

Показатели работы печи	Без пульсации теплоносителя	С пульсацией теплоносителя
Средневзвешенный расход газа за весь период нагрева $V_{\text{газа}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	89,354	80,248
Средневзвешенный расход воздуха за весь период нагрева $V_{\text{в-ха}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	842,962	757,057
Средневзвешенный расход воздуха за весь период охлаждения $V_{\text{в-ха}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	11910	
Удельный расход условного топлива $V_{\text{ус.т}}, \text{ кг/т}$	33,561	30,141
Коэффициент использования тепла топлива $\eta_{\text{кит}}$	0,696	0,775
Термический КПД печи	0,6	0,668
Средневзвешенная полная тепловая мощность печи $M^{\text{сп}}, \text{ МВт}$	0,819	0,739
Общее время нагрева $\tau, \text{ ч}$	70	
Общее время охлаждения $\tau, \text{ ч}$	86	

Так для рассматриваемой термической печи, сравнивая два режима, экономия топлива составила 10,1 % [3].

Экономия топлива варьируется в зависимости от параметров работы термической печи, но в общем можно сказать о том, что она колеблется в пределах 8–11 %. Применение данного режима позволяет совмещать качественный нагрев (темпы скоростей нагрева и охлаждения) и экономию топлива при одинаковом времени нагрева и выравнивания, что немаловажно, учитывая постоянно увеличивающиеся цены на энергоносители.

Выводы. Создана новая экспериментальная программа для расчета оптимального энергосберегающего режима термической обработки металла в камерных термических печах, целью которой является уменьшение энергетических затрат при термической обработке металла.

Как показали результаты расчета для представленного варианта термообработки практическое использование данной программы позволит сократить энергетические затраты при термической обработке металла в камерных термических печах на 10,1 %.

Дальнейшие исследования будут направлены на адаптацию разработанной программы к условиям работы действующих промышленных термических печей.

Библиографический список

1. Мороз В.И. Нагрев валков холодной прокатки и роликов МНЛЗ под термическую обработку в печи с импульсной подачей теплоносителя / Егорова В.М., Гусев С.В. // Кузнечно-штамповочное производство и обработка металлов давлением, 2002. - № 8. - С.29-34.

2. Разработка и внедрение системы управления работой импульсных горелок для нагревательных печей нового поколения / [Васильев А.В., Лисиенко В.Г., Маликов Ю.К. и др.] // Сборник трудов конференции «Кузнецы Урала 2005». – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. - С.671-676.

3. Сравнительные испытания импульсного и непрерывного отопления в термической печи / [Неймарк Л.А., Гречишников Я.М., Энно И.К. и др.] // Кузнечно-штамповочное производство, 1987. - № 9. -С. 35-37.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.