

Розглянуто змінення форми кінців товстих широких розкатів при гарячій листовій прокатці в системах горизонтальних і вертикальних валків стосовно різних умов деформації. Отримані моделі, що характеризують нерівномірність деформації кінців розкатів в плані залежно від параметрів прокатки. Надані рекомендації по використанню отриманих моделей.

УДК 662.9(083)

А. Б. Бирюков, В. В. Кравцов (ДонНТУ)

Новые подходы к анализу эффективности тепловой работы высокотемпературных нагревательных печей

Для анализа эффективности тепловой работы нагревательных печей принято использовать величину коэффициента использования топлива. По своему физическому смыслу коэффициент использования топлива представляет собой долю химической энергии единицы топлива, оставленной в рабочей камере (это тепло идет на нагрев материала и покрытие теплопотерь рабочей камеры). В процессе нагрева различают текущие и средние значения коэффициента использования топлива.

Текущие значения коэффициента использования топлива определяются следующим образом [1]:

$$\eta = \frac{Q_H^p - V_{yx} c^{t_{yx}} t_{yx} (1 - k_r)}{Q_H^p}, \quad (1)$$

V_{yx} – выход продуктов сгорания с 1 м³ топлива, м³/м³; $c^{t_{yx}}$ – средняя теплоемкость продуктов сгорания, покидающих рабочую камеру при их температуре, Дж/(м³·°C); t_{yx} – температура продуктов сгорания, покидающих рабочую камеру, °C; k_r – коэффициент рекуперации (доля теплоты уходящих из рабочей камеры продуктов сгорания, возвращаемая в нее с подогретым в рекуператоре воздухом, идущим на сгорание топлива).

В качестве среднего за процесс нагрева коэффициента использования топлива авторами предложено понимать средневзвешенное значение, которое зависит от распределения во времени

Предложена теорема о предельном значении коэффициента использования топлива при нагреве металла. С ее помощью можно оценить эффективность тепловой работы конкретных агрегатов и определить перспективы и целесообразность проведения мероприятий по повышению реальных значений коэффициента использования топлива

текущих значений коэффициента использования топлива и тепловых потоков, падающих на поверхность материала, и определяется следующим образом:

$$\eta_{св} = \frac{m c \Delta t}{F_M \cdot \int_0^{\tau_H} \frac{q}{\eta} d\tau}, \quad (2)$$

m – масса нагреваемого материала, кг; c – средняя теплоемкость нагреваемого материала, Дж/(кг·°C); Δt – требуемое повышение среднemasсовой температуры, °C; q – текущее значение плотности теплового потока, Вт/м²; η – текущее значение коэффициента использования топлива; F_M – наружная поверхность нагреваемых заготовок, м².

При заданных параметрах нагрева расход топлива будет определен средневзвешенным значением коэффициента использования топлива за весь период нагрева:

$$V = \frac{m c \Delta t + Q_{пот} \tau_H}{\eta_{св} Q_H^p}, \quad (3)$$

$Q_{пот}$ – средняя мощность потерь тепла рабочей камерой, Вт; τ_H – время нагрева, с; Q_H^p – теплота сгорания топлива, кДж/м³.

Как видно из зависимости (3) задача сокращения расхода топлива может решаться за счет повышения средневзвешенного коэффициента использования топлива за процесс нагрева и сокращения потерь тепла рабочей камерой. Если учесть, что для современных агрегатов, в которых для футеровки и тепловой изоляции рабочих камер используют керамоволокнистые материалы, доля потерь тепла рабочей камерой незначительна, то, очевидно, что сегодня самым мощным фактором сокращения расхода тепла на нагрев является увеличение коэффициента использования топлива.

Из зависимости (2) следует, что влияние текущих значений коэффициентов использования топлива на средневзвешенное значение определяется соответствующими им значениями тепловых потоков. Однако очевидно, что для увеличения средневзвешенного значения коэффициента использования топлива необходимо стремиться в каждый момент времени к росту текущих значений коэффициента использования топлива.

На практике для анализа эффективности принимаемых технических решений по совершенствованию тепловой работы нагревательных печей удобно иметь информацию о предельном значении коэффициента использования топлива, которое может быть теоретически достигнуто в конкретных условиях. Подобный подход имеет место в технической термодинамике, когда для анализа эффективности работы тепловых двигателей их реальные термические коэффициенты полезного действия сравниваются с предельным значением, определенным при помощи теоремы Карно [2].

В данной работе предложена и доказана теорема о предельном значении коэффициента использования топлива при нагреве металла. Ее роль для анализа процессов нагрева такая же, как роль теоремы Карно для анализа работы тепловых двигателей.

Суть теоремы: при нагреве материала в печи с заданным коэффициентом рекуперации наибольшее возможное значение коэффициента использования топлива будет достигнуто при нагреве постоянным тепловым потоком $dq = \text{const} \rightarrow 0$ и оно равно коэффициенту использования топлива, подсчитанному для значения температуры продуктов сгорания, равного среднему арифметическому от начальной и конечной температур металла.

Доказательство: из анализа зависимости (1) видно, что для роста значения коэффициента использования топлива при заданном коэффициенте рекуперации и заданном выходе продуктов сгорания с единицы топлива необходимо снижать температуру продуктов сгорания, покидающих рабочую камеру. Однако в каждый момент времени температура продуктов сгорания не может быть ниже температуры поверхности заготовки: $t_{yx}(\tau) \geq t_{пов}(\tau)$.

Рассматривая предельный случай, когда $t_{yx}(\tau) \rightarrow t_{пов}(\tau)$ имеем бесконечно длительный нагрев материала постоянным потоком $dq = \text{const} \rightarrow 0$; при этом температура уходящих продуктов сгорания линейно меняется от начальной t_n^H до конечной t_n^K температуры поверхности нагреваемых тел. То есть средний за процесс коэффициент использования топлива определяется как

$$\eta_{св}^{max} = \bar{\eta}\left(\frac{t_n^H + t_n^K}{2}\right) = \frac{Q_H^p - V_{yx} c^{t_{yx}} \left(\frac{t_n^H + t_n^K}{2}\right) (1 - k_r)}{Q_H^p}$$

На рис. 1 при помощи зависимости (1) и предложенной теоремы проанализировано соотношение предельно возможного и реального средневзвешенных значений коэффициента использования топлива при нагреве металла в зависимости от значения коэффициента рекуперации. Для рассматриваемого случая приняты следующие исходные данные:

– теплота сгорания газообразного топлива, кДж/м ³	35000
– зависимость теплоемкости продуктов сгорания от температуры, кДж/м ³ ·°C	1,348 + 1,651·10 ⁻⁴ t
– выход продуктов сгорания с единицы топлива, м ³ /м ³	12
– начальная температура поверхности металла, °C	20
– конечная температура поверхности металла, °C	1250
– средняя за нагрев температура продуктов сгорания, покидающих рабочую камеру при классической технологии нагрева металла, °C	1220

Из анализа информации, представленной на рис. 1, видно, что наиболее существенная разница между предельным теоретическим и реальным значениями коэффициента использования топлива

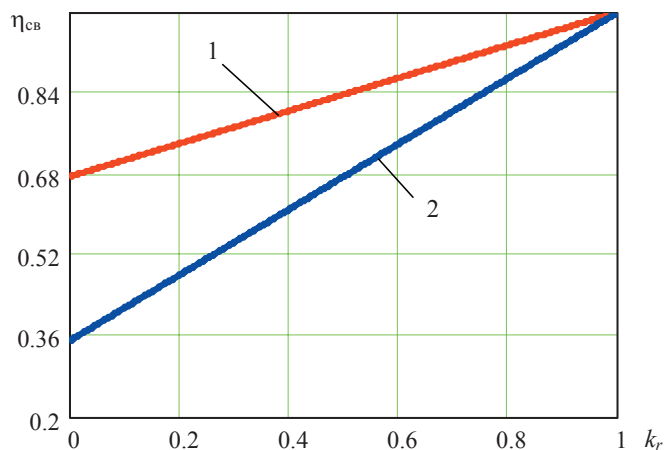


Рис. 1. Зависимость значений коэффициента использования топлива от коэффициента рекуперации: 1 – предельное значение, определенное при помощи предложенной теоремы; 2 – реальное значение

имеет место при полном отсутствии рекуперации. По мере роста значения коэффициента рекуперации эта разница уменьшается и становится равной нулю при достижении полной рекуперации ($k_r = 1$).

Если принять за базовый расход топлива при обычной технологии нагрева, то при помощи формулы (3) получим зависимость экономии топлива при достижении теоретического предельного значения коэффициента использования топлива в зависимости от коэффициента рекуперации, приведенную на рис. 2. Эта экономия наиболее существенна при

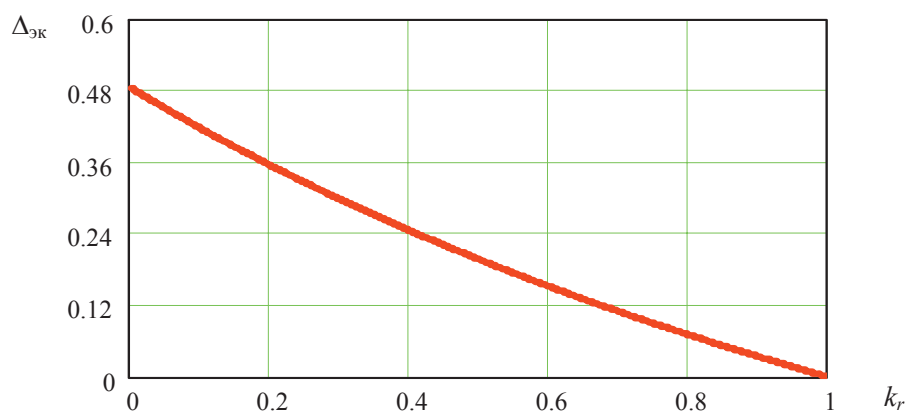


Рис. 2. Теоретически возможная предельная экономия топлива в зависимости от значения коэффициента рекуперации

низких значениях коэффициента рекуперации. При отсутствии рекуперации для рассмотренного примера она составляет 48 %, при полной рекуперации – равна нулю.

На практике достижение значений коэффициента использования топлива, приближенных к $\eta_{св}^{max}$, затруднительно, так как нагрев получается очень растянутым из-за низкой величины подводимых к поверхности нагреваемых тел теплового потока.

С другой стороны, увеличение потока сопряжено с ростом температуры дымовых газов, покидающих рабочую камеру, и приводит к снижению величины коэффициента использования топлива.

Из анализа зависимости (1) видно, что для повышения значения средневзвешенного коэффициента использования топлива необходимо разрабатывать мероприятия по снижению температуры уходящих продуктов сгорания, повышению значения коэффициента рекуперации и сокращению количества дымовых газов. Так, снижение тем-

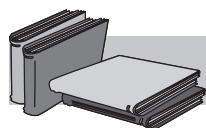
пературы уходящих продуктов сгорания при сохранении скорости нагрева может быть достигнуто только при повышении интенсивности теплообмена в печи и росте итоговых коэффициентов теплоотдачи от продуктов сгорания к поверхности нагреваемого металла. Очевидно, что на современном этапе наиболее весомым шагом в данном направлении является значительное усиление конвективного теплообмена в печи.

Повышение коэффициента рекуперации содержит значительные резервы повышения эффективности нагрева. Так, для теоретического случая, при котором коэффициент рекуперации равен единице, коэффициент использования топлива также равен единице независимо от температуры продуктов сгорания, покидающих рабочую камеру. На практике работа в этом направлении заключается в совершенствовании конструкций рекуператоров. Зачастую рекуператоры отечественных нагревательных печей позволяют достичь значений коэффициентов рекуперации на уровне не более 0,2-0,3.

Значение предложенной теоремы заключается в том, что она позволяет в каждом конкретном случае (начальная и конечная температура металла, значение коэффициента рекуперации) определить предельно достижимое значение средневзвешенного коэффициента использования топлива за весь период нагрева и определить целесообразность усилий по повышению реальных значений коэффициента использования топлива.

Выводы

Предложена теорема о предельном значении коэффициента использования топлива при нагреве материала. С ее помощью можно оценить эффективность тепловой работы конкретных агрегатов и определить перспективы и целесообразность проведения мероприятий по повышению реальных значений коэффициента использования топлива.



ЛИТЕРАТУРА

1. Тайц Н. Ю. Технология нагрева стали. – М.: Metallurgy, 1962. – 568 с.
2. Нащекин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш. шк., 1980. – 470 с.

Summary

A. Biryukov, V. Kravtsov

New approach to analysis of high-temperature heating furnaces efficiency of heat activity

The theorem about the fuel use factor limit value during the metal heating is supposed. Using it you can estimate the efficiency of heat activity of specified sets and determine the aspects and expediency of procedures for increase the real values of fuel use factor.

Анотація

А. Б. Бірюков, В. В. Кравцов

Новітні підходи до аналізу ефективності теплової роботи високотемпературних нагрівальних печей

Запропонована теорема про граничне значення коефіцієнта використання палива при нагріванні металу. З її допомогою можна оцінити ефективність теплової роботи конкретних агрегатів і визначити перспективи та доцільність проведення заходів по підвищенню реальних значень коефіцієнта використання палива.

Ключевые слова

Коеффициент рекуперации, конвективный теплообмен, нагревательные печи, рекуператор, коэффициент использования топлива

УДК 621. 771. 06

В. А. Николаев, С. В. Жученко (ЗГИА)

Профилирование обводных роликов для повышения плоскостности полос при холодной прокатке

Холодную прокатку на непрерывных станах выполняют с натяжением полосы на межклетевых участках и при смотке ее на моталку. Практически во всех случаях прокатки имеет место неравномерное распределение продольных напряжений по ширине полосы. Экспериментальные исследования [1-5] показывают, что различие между величинами напряжений по ширине полосы может достигать $\delta\sigma_{\parallel} = 100-160$ МПа. При этом наибольшие величины напряжений натяжения σ_{\parallel} имеют место на краях полосы, а минимальные – по оси полосы. Такой процесс холодной прокатки полос обусловлен необходимостью центровки полосы по оси валков за счет большего натяжения кромок.

Неравномерность распределения растягивающих напряжений перед входом в последующую клетку создается благодаря разности вытяжек и неравномерности скоростей вблизи очага деформации по ширине полосы [1]. Неравномерность напряжений σ_{\parallel} оказывает соответствующее влияние на распределение нормальных контактных напряжений, упругих деформаций валков,

Предложена рациональная профилировка обводных роликов прокатных станов, позволяющая уменьшить неравномерность продольных растягивающих напряжений по ширине полосы и снизить неравномерность деформации по ширине очага деформации следующей клетки

пластических деформаций по ширине полосы и ее планшетность. При этом большие величины напряжений растяжения на краевых участках полосы обуславливают снижение средних нормальных контактных напряжений, утонение кромок и увеличение поперечной разнотолщинности полосы. Для снижения неравномерности распределения напряжений σ_{\parallel} по ширине полосы и повышения качества ее профиля и формы используют различные устройства и способы, в том числе известные устройства гидравлического изгиба и осевого сдвига рабочих валков, которые, в определенной степени, позволяют регулировать поперечную форму межвалкового зазора, компенсируя тем самым влияние неравномерности растягивающих напряжений σ_{\parallel} перед клетью. На неравномерность распределения вытяжек и напряжений растяжений по ширине полосы можно также воздействовать