



The experience of exploitation of continuous heating furnaces, established in section rolling workshops of RUP BMZ, the peculiarities of the construction and decisions, which allowed to reach stable and economical operation of units, is considered in the article.

И. В. КОТОВ, РУП «БМЗ»

УДК 621.783.231.1

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТОДИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА РУП «БМЗ»

В прокатном цехе Белорусского металлургического завода эксплуатируются четыре нагревательные методические печи, предназначенные для нагрева стальных заготовок под прокатку, установленные на реверсивном среднесортном стане 850 и мелкосортных станах 320 и 150. При этом на стане 850 последовательно расположены две печи – подогревательная и нагревательная. Станы 320 и 150 имеют по одной печи.

Первой была построена печь стана 320. Проект агрегата был выполнен фирмой «DANIELI» совместно с «HERTEY». Печь имеет комбинированный механизированный под – в методической и зоне преднагрева заготовка перемещается на шагающих балках, в сварочных и томильной зонах – на шагающем поду. Максимальная производительность агрегата – 170 т/ч. Заготовки, предназначенные под нагрев сечением 125x125 мм, непрерывнолитые или горячекатаные. Посад и выдача заготовок – боковые, по водоохлаждаемым роликам. Для перемещения заготовок на балки предусмотрены рычажные механизмы. Печь разделена на методическую неоттапливаемую, предварительного нагрева, две сварочные и томильную трехсекционную зону. Три секции в томильной зоне необходимы для создания так называемого «температурного клина», т.е. разности температур по длине заготовки. Разница температур необходима ввиду различных скоростей движения заготовки на роликах выдачи и в трайбаппарате первой клетки, что обуславливает различное время нахождения на открытом воздухе поверхности заготовки. В зоне преднагрева установлено шесть боковых длиннофакельных горелок, в сварочных и томильных – 96 сводовых. Горелки разработаны фирмой «HERTEY». Важной особенностью печи является достаточно короткий неоттапливаемый участок методической зоны – около 1,5 м. Однако ввиду значительной величины степени конвекции дымовых газов в зоне преднагрева температура отходящих газов составляет порядка 670–720 °С. Применение шагающих балок в зоне преднагрева позволило избежать искривления заготовок при

интенсивном нагреве до температур пластических деформаций. Несмотря на значительные преимущества подобного решения (в частности, возможность работать с заготовками, имеющими некую начальную кривизну без опасения «пакования» металла) наличие комбинированного пода усложняет конструкцию печи, увеличивает капитальные затраты на ее строительство и обслуживание, увеличивает тепловые потери с охлаждающей водой. Для направления потока от дымовых газов сварочных и томильной зон в нижнюю часть зоны предварительного нагрева на своде печи установлен небольшой пережим. Отвод дымовых газов осуществляется через каналы, расположенные внизу торцевой загрузочной стены.

Нагревательная печь стана 850, построенная по проекту «DIDIER», предназначена для нагрева непрерывнолитых заготовок сечением 250x300 и 300x400 мм. Максимальная производительность на сечении 300x400 – 102 т/ч, 250x300 мм – 90 т/ч. Печь предназначена как для нагрева предварительно подогретых заготовок (поступающих непосредственно с МНЛЗ либо из подогревательной печи), так и холодного металла. Заготовки располагаются на шагающих балках и обогреваются одновременно с двух сторон – сверху (сводовыми плоскопламенными горелками) и снизу (боковыми длиннофакельными). Посад и выдача заготовок – торцевые. Позиционирование заготовок осуществляется с помощью регулируемого упора при посадке. При этом заготовки, имеющие минимальную длину, располагаются на поду в шахматном порядке. Однако наиболее часто используется рядное расположение. Посад и выдача осуществляются балочными механизмами с гидроприводом. Печь имеет шесть зон автоматического регулирования температуры, причем зоны расположены попарно в вертикальной плоскости (1-я и 2-я – зоны предварительного нагрева, 3-я и 4-я – сварочные зоны, 5-я и 6-я – томильные зоны). Для предотвращения попадания холодного воздуха на раскаленную футеровку при открытой заслонке выдачи служит 7-я зона, состоящая из двух длинно-

факельных горелок и являющаяся тепловой завесой. Четверть длины пода занимает неотапливаемая методическая зона. Каждая зона имеет отдельный коллектор газа и подогретого воздуха с регулируемой подачей. Это дает возможность регулировать распределение тепловых потоков по печному пространству. Применение шагающих балок позволило максимально сократить длину пода и время пребывания в печи, что является положительным фактором с точки зрения уменьшения окалинообразования. Кроме того, двусторонний регулируемый нагрев заготовок позволил в некоторой степени управлять поведением раската в реверсивной клетке (изменяя распределение тепла между гранями заготовки, можно добиться уменьшения выгибания концов раската при выходе из калибров, чему способствует неравномерное охлаждение на раскатном поле). Дымовые газы удаляются через каналы, расположенные под окном загрузки.

Для повышения производительности стана была установлена подогривательная печь «ITALIMPIANTI» для предварительного подогрева холодных заготовок до температуры ≈ 800 °С. Конструкция печи аналогична нагревательной за исключением боковой выдачи. Кроме того, печь имеет несколько меньшую длину пода и всего четыре зоны нагрева – две верхних и две нижних. Все зоны являются, по сути, сварочными. Верхние зоны оборудованы плоскопламенными горелками, нижние – боковыми длиннофакельными. Так как впоследствии заготовки транспортируются в нагревательную печь, необходимость в томлении отпадает. В то же время на небольшой период времени (до недели) подогривательная печь способна выполнять функции нагревательной, что особенно ценно при аварийных простоях. Основная масса заготовок, проходящих через печь, – остывшие на складе заготовки сечением 300x400 мм, однако при прокате профилей с высокой производительностью (например, сечением 125x125 мм) применяется подогрев и заготовок сечением 250x300 мм. Отвод дымовых газов осуществляется через канал, расположенный под загрузочным окном.

Печь стана 150 «ITALIMPIANTI» была построена в период реконструкции стана 320/150. Основной причиной реконструкции являлось стремление разделить потоки ранее производимой на одном стане продукции – катанки для изготовления металлокорда и прутков арматурной стали. При этом часть оборудования нового стана оставалась на прежнем месте. Новая печь проектировалась при жестких ограничениях на размеры, что определило конструктивные особенности: шагающий под; минимальную длину методической зоны; применение боковых длиннофакельных горелок вместо сводовых плоскопламенных.

Печь разделена на пять зон регулируемого теплового режима и неотапливаемую методичес-

кую зону. В зонах 1 и 2 (зоне предварительного нагрева и сварочной) горелки расположены противонаправлено на противоположных стенах. Томильная зона (зоны 3, 4 и 5) оснащена ряднорасположенными торцовыми горелками. При этом горизонтальная ось симметрии горелок слегка отклонена в сторону пода. Разделение томильной зоны на три части необходимо для создания «температурного клина». В сочетании с небольшой высотой внутрипечного пространства применение боковых горелок позволило частично достичь эффекта горелок плоскопламенных, т.е. обеспечить значительную часть теплового потока на металл переизлучением от раскаленной футеровки свода. Так был устранен один из главных недостатков длиннофакельных горелок – неравномерность по длине нагрева. Для равномерного прогрева и интенсификации процесса теплопередачи в методической и зоне преднагрева под выполнен с кантующимися рейтерами, т.е. при каждом шаге заготовка поворачивается на 90°. Данное решение (по сравнению с методом, применяемым на печи стана 320) требует меньших капитальных затрат и практически не влияет на изменение теплопотерь через футеровку, однако сразу предъявляет повышенные требования к начальной кривизне заготовок и состоянию рейтеров, так как при износе направляющих возможно «пакование» металла. Нагреваемый материал – стальные непрерывнолитые и горячекатаные заготовки сечением 125x125 мм. Посад и выдача заготовок – боковые. Позиционирование на поду печи осуществляется с помощью внутрипечного упора с гидроамортизацией. Перемещение заготовки на ролики выдачи производится механизмом типа «Kick – off». Отвод дымовых газов осуществляется через щель в своде методической зоны у стены загрузки. В сочетании с развитым пережимом в середине пода и пониженной высотой свода в методической зоне данное решение позволяет закручивать поток дымовых газов, дополнительно увеличивая степень конвекции в методической зоне.

На всех печах в качестве топлива используется природный газ. Для максимальной утилизации тепла отходящих дымовых газов на всех печах установлены стальные трубчатые рекуператоры для подогрева идущего на сжигание воздуха. Футеровка рабочих поверхностей печи выполнена материалами «PLIBRICO». Несмотря на более высокую цену, по сравнению с российскими аналогами, данные огнеупоры имеют значительно более высокую стойкость и низкую теплопроводность. В конечном итоге их применение обходится дешевле. Для частичного покрытия нужд ГВС цеха в дымовых трактах печей после рекуператоров установлены водяные экономайзеры с регулируемым отбором дымовых газов. Регулировка позволяет поддерживать минимально необходимую (для предотвращения конденсации паров азотной кислоты) температуру в дымовой трубе.

Еще в процессе освоения оборудования сортопрокатного цеха и выхода на проектную мощность были обнаружены существенные технологические трудности в организации ритмичной, надежной и экономичной работы агрегатов цеха. Наибольшие трудности в этом отношении вызывали многоклетьевые станы 320 и 150. Повышенный расход топлива в нагревательной печи, а также значительное окисление и обезуглероживание поверхностных слоев металла (что особенно существенно при нагреве заготовок сечением 125x125 мм, имеющих значительно большее соотношение площади к массе, чем у блюмов сечением 250x300 и 300x400 мм). Статистический метод оптимизации режимов нагрева оказался неприемлем, поскольку разработка новых режимов велась при постоянно меняющейся производительности стана (а соответственно и печи). Было принято решение проводить исследования в следующих направлениях:

- экспериментальное определение динамики нагрева стали и на его основе идентификация математической модели процесса;
- расчетно-теоретический анализ проектных режимов печи;
- разработка рациональной (экономичной) технологии нагрева;
- экспериментальная проверка разработанной технологии.

Измерение температуры заготовок производили зачеканенными термопарами в контрольных точках (верхняя и нижняя грани, центр заготовки) от момента посадки заготовок до выдачи. Данные по температуре в зоне, расходах газа, воздуха, температуре отходящих газов и охлаждающей воды брали со штатно установленных на посту управления печью приборов. При расчетно-теоретическом анализе работы печной установки была взята математическая модель нагрева заготовок квадратного сечения, реализованная численно с использованием метода конечных элементов на ЭВМ. Описание математической модели включает:

двухмерное уравнение теплопроводности

$$\rho(T)c(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right],$$

где $-R \leq x \leq R$; $-R \leq y \leq R$; $0 \leq \tau < \infty$;

граничные условия третьего рода и условия симметрии

$$\lambda(T) \frac{\partial T(R; y; \tau)}{\partial x} = \sigma [T_n^4 - T^4(R; y; \tau)] + \alpha [T_n - T(R; y; \tau)],$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T(R; x; \tau)}{\partial x} = \sigma [T_n^4 - T^4(R; x; \tau)] + \alpha [T_n - T(R; x; \tau)],$$

$$\frac{\partial T(0; x; \tau)}{\partial x} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial T(0; y; \tau)}{\partial y} = 0;$$

начальное условие

$$T(x; y; 0) = T_0(x; y).$$

Идентификация модели с результатами промышленного эксперимента осуществлялась подбором коэффициента лучистого теплообмена σ , как наиболее влияющей на теплообмен составляющей. После эмпирического подбора коэффициентов по зонам, наиболее полно соответствующих реальным графикам нагрева, при помощи модели проигрывали различные варианты нагрева. При этом оптимизацию проводили комплексно по нескольким направлениям:

- минимальный расход топлива;
- сохранение качества нагрева (т.е. удержание перепада температур между поверхностью и центром в допустимом пределе и ограничение разницы температур до прогрева заготовки в области упругих деформаций);
- минимизация окалинообразования и обезуглероживания металла.

Как показали результаты расчетов, наиболее оптимальным является режим плавного подогрева металла до температуры начала пластических деформаций и последующий интенсивный нагрев его. При этом время пребывания металла в области высоких температур сокращается до минимально возможного, что минимизирует окалинообразование. Параллельно с тепловыми режимами совершенствовался химический состав печной атмосферы, управляемый соотношением «газ: воздух» на каждую зону печи. Для минимизации окалинообразования в высокотемпературных зонах (сварочной и томильной) коэффициент избытка воздуха составляет 1,0–0,9, в зоне же предварительного нагрева – 1,05–1,1. Подобное распределение позволяет достичь слабоокислительной атмосферы в зонах интенсивного окалинообразования и дожигания продуктов неполного горения в низкотемпературной зоне. Кроме того, проведенные расчеты показали, что при работе печей станов 320 и 150 на профилях, предусматривающих невысокие производительности, можно отказаться от периода томления, что улучшает экономичность работы (КПД теплопередачи при томлении минимален). Таким образом, применение в период всего срока эксплуатации специалистами завода совместно с кафедрой «Металлургические технологии» БНТУ математического моделирования в сочетании с дальнейшим усовершенствованием режимов на основе статистического анализа, накопленного в период эксплуатации информации, позволили разработать и внедрить режимы нагрева металла, выводящие печи прокатного производства на уровень лучших европейских образцов. Средний показатель удельного расхода топлива в период с 2000 по 2003 г. составил 42 кг усл./т.