

И.И.Бойко, М.Г.Тряпичкин, Н.А.Плешенко, В.А.Воробьев*

МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕКУПЕРАТИВНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛОДЦЕВ С ОТОПЛЕНИЕМ ИЗ ЦЕНТРА ПОДА

В работе предлагается устранение основного недостатка рекуперативных нагревательных колодцев – утечки воздуха в керамических рекуператорах путем установки многосоплового инжектора в кольцевом канале горячего воздуха перед выходом воздуха в ячейку.

Постановка задачи.

Одним из основных станов для обработки металла давлением на металлургическом комбинате Криворожсталь является прокатный стан Блюминг 1150, расположенный в цехе Блюминг-1.

Слитки, подвергающиеся обработке давлением на Блюминге 1150, предварительно нагреваются в нагревательных рекуперативных колодцах с отоплением из центра подины. Указанные колодцы имеют стандартную конструкцию, широко освещаемую в технической и учебной литературе [1÷5]. Режим работы рекуперативных колодцев с отоплением из центра пода, как и большинства других, используемых в настоящее время в промышленности, состоит из двух периодов, в первом из которых поддерживается постоянной общая тепловая мощность ($M_0 = \text{const}$), а во втором поддерживается постоянной температура печи ($t_{\text{печ}} = \text{const}$).

В качестве отопления на данных колодцах используется коксо-доменная смесь (КДС).

Теплота сгорания коксодоменной смеси $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$, кДж/м³: 8374÷8793, (2000÷2100 ккал/м³).

Расход топлива, м³/ч:

период нагрева: 2000÷2200 м³/ч;

период выдержки: 1000÷1500 м³/ч.

Общая тепловая мощность M_0 , кВт, (ккал/ч):

по проекту: 6048÷7327, (5,2÷6,3 млн ккал/ч);

действительная: 4885÷5350, (4,2÷4,6 млн ккал/ч).

* Бойко И.И. – доцент НМетАУ.

Тряпичкин М.Г. – начальник ТТЛ КГГМК.

Плешенко Н.А. – зам. начальника цеха Блюминг-1 КГГМК.

Воробьев В.А. – ст. мастер отделения нагревательных колодцев цеха Блюминг-1 КГГМК.

©И.И.Бойко, М.Г.Тряпичкин, Н.А.Плешенко, В.А.Воробьев, 2002

Для подачи воздуха используется вентилятор типа Ц-14-46
№ 6,3.

Давление – 160 кгс/м³.

Производительность:

проектная – 12000 м³/ч;

фактическая – 6000÷12000 м³/ч.

Средняя масса (m) слитков: 8,0-8,5 т.

Количество слитков в колодце (max) – 14 штук.

Температура посяда слитков, средняя за 2000 год – 861⁰С.

Температура подогрева воздуха в керамическом рекуператоре:
500÷600⁰С.

Размеры нагревательного колодца (ячейки), мм: длина – 5700, (5100); ширина – 4800; высота – 3100.

Основным общеизвестным недостатком колодцев данной конструкции является низкая герметичность керамического рекуператора, служащего для подогрева воздуха, идущего на горение в ячейку. В результате низкой герметичности в керамических рекуператорах происходит утечка воздуха из воздушного канала рекуператора в дымовой канал, так как давление в воздушном канале больше, чем давление в дымовом канале.

Уровень утечек воздуха, в зависимости от длительности предварительной работы ячейки, составляет от 20 до 50 и более процентов воздуха, подающегося на рекуператор ячейки колодца. Таким образом, в ячейку колодца подается неконтролируемое количество воздуха, постепенно уменьшающееся по мере эксплуатации ячейки. При этом качество сжигания топлива можно определить только по составу дымовых газов, определяемых периодически вручную.

Известные попытки устранить этот недостаток, используемые на некоторых металлургических предприятиях бывшего СССР, не нашли широкого и постоянного применения из-за их низкой эффективности или недостаточной стойкости при воздействии высоких температур.

Одним из направлений по устранению утечек воздуха в керамических рекуператорах было использование инжектирования горячего воздуха через керамический рекуператор. Для этого инжекторы устанавливались в каналах горячего воздуха сразу после рекуператора.

Недостатком этой схемы являлось то, что эффект инъекции, т.е. уменьшение давления в воздушном тракте, создаваемое инжектором, расходовалось в основном на преодоление противодавления, т.е. на преодоление потерь давления в воздушном тракте на пути от инжектора до выхода в ячейку колодца.

Детальный анализ этого мероприятия показал, что для обеспечения максимальной эффективности работы инжектора, т.е. для обеспечения необходимого понижения давления в воздушном тракте ке-

рамического рекуператора минимальным расходом инжектирующего воздуха необходимо инжектор установить как можно ближе к выходному сечению канала горячего воздуха в ячейку колодца. При этом необходимо обеспечить, чтобы поперечное сечение раскрывающейся струи инжектирующего воздуха полностью перекрыло все сечение канала горячего воздуха на выходе канала в ячейку. Иначе на выходе из инжектора возникнут обратные токи воздуха и дымовых газов, которые резко уменьшат эффективность работы инжектора.

Учитывая указанные результаты этого качественного анализа предлагается в каждой ячейке рекуперативных колодцев с центральной горелкой с целью уменьшения давления в воздушных каналах керамического рекуператора до давления в дымовых каналах рекуператора или даже ниже применить инжектор, который необходимо установить в кольцевом канале горячего воздуха горловины ячейки перед выходом горячего воздуха в ячейку. При этом инжектор должен быть обязательно многосопловым с таким количеством сопел, чтобы струи, вылетающие из этих сопел, полностью перекрывали все поперечное сечение канала горячего воздуха на выходе в ячейку.

Для определения параметров работы, размеров и количества сопел инжектора, а также количества инжектирующего воздуха, обеспечивающего требуемое понижение давления в воздушных каналах рекуператора, необходимо выполнить расчет инжектора для принятых условий.

Расчет многосоплового инжектора

Для определения действительных исходных данных, соответствующих работе колодцев в существующих реальных режимах, были проведены теплотехнические испытания средней по показателям работы ячейки нагревательного колодца с отоплением из центра пода цеха Блюминг-1.

Исходные данные, принятые для расчета многосоплового инжектора:

теплота сгорания КДС -	$Q_H^P = 8800 \text{ кДж/м}^3$;
теоретический расход воздуха -	$L_0 = 2,11 \text{ м}^3/\text{м}^3$;
коэффициент расхода воздуха -	$n = 1,1$;
действительный расход воздуха -	$L_d = 2,32 \text{ м}^3/\text{м}^3$;
действительный объем дымовых газов -	$V_d = 3,03 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Расход газа в эксперименте (максимальный в период нагрева) по показаниям приборов составлял $2200 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расчеты кольцевого начала и геометрии струй показали, что для перекрытия выходного сечения в кольцевом канале необходимо установить 8 сопел.

Отметим, что в качестве инжектирующего воздуха будем использовать турбинный или компрессорный воздух, имеющий давление, позволяющее получить на срезе инжектирующих сопел скорости воздуха, близкие к звуковой скорости.

Принимаем для расчета скорость инжектирующего воздуха на срезе сопла $W_1 = 300$ м/с. Расчеты были выполнены для случаев 5, 10 и 15% инжектирующего воздуха от общего расхода горячего воздуха.

Для расчета использовалось известное уравнение простого инжектора.

$$\frac{M_1 W_1^2}{2} + \frac{M_2 W_2^2}{2} = (V_1 + V_2) \cdot (P_3 - P_2) + \frac{M_3 W_3^2}{2} + \frac{M_1 (W_1 - W_3)^2}{2} + \frac{M_2 (W_2 - W_3)^2}{2}$$

После раскрытия скобок и несложных преобразований это уравнение можно записать в виде:

$$\Delta P = \frac{W_3}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{\omega}{\rho_2}} \cdot [W_1 - (1 + \omega) \cdot W_3 + \omega \cdot W_2]$$

где $\Delta P = P_3 - P_2$ - это тяга (разрежение), которую создает инжектор при принятых условиях в зависимости от кратности инъекции ω (рис. 1).

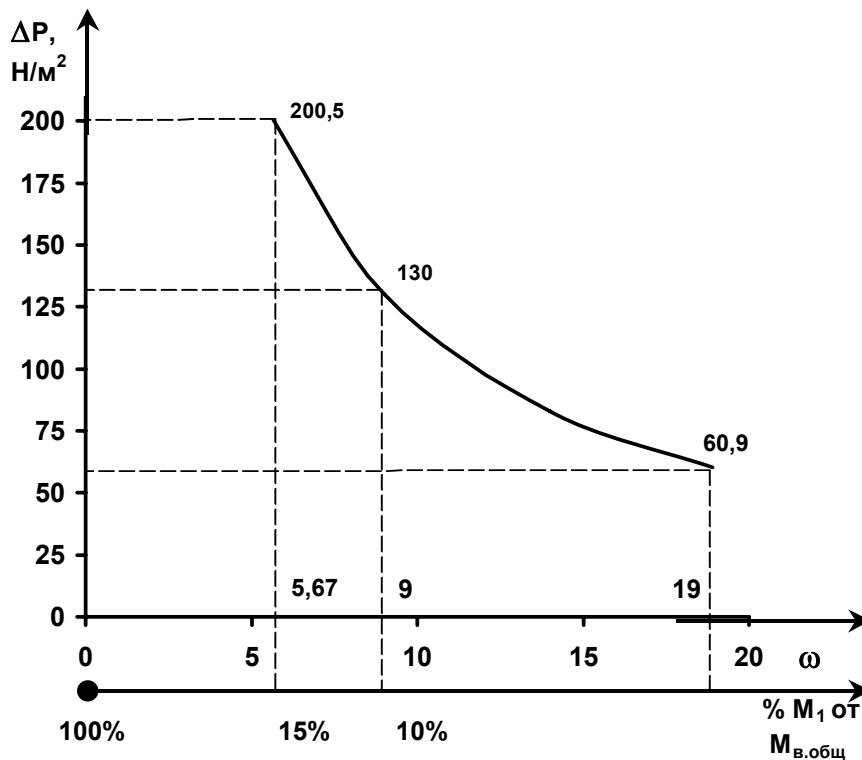


Рис. 1. Зависимость изменения разрежения ΔP , создаваемого инжектором в воздушном тракте рекуператора, от кратности инъекции ω .

Схема установок трубок инжектора в кольцевом канале выхода горячего воздуха в ячейку приведена на рис. 2.

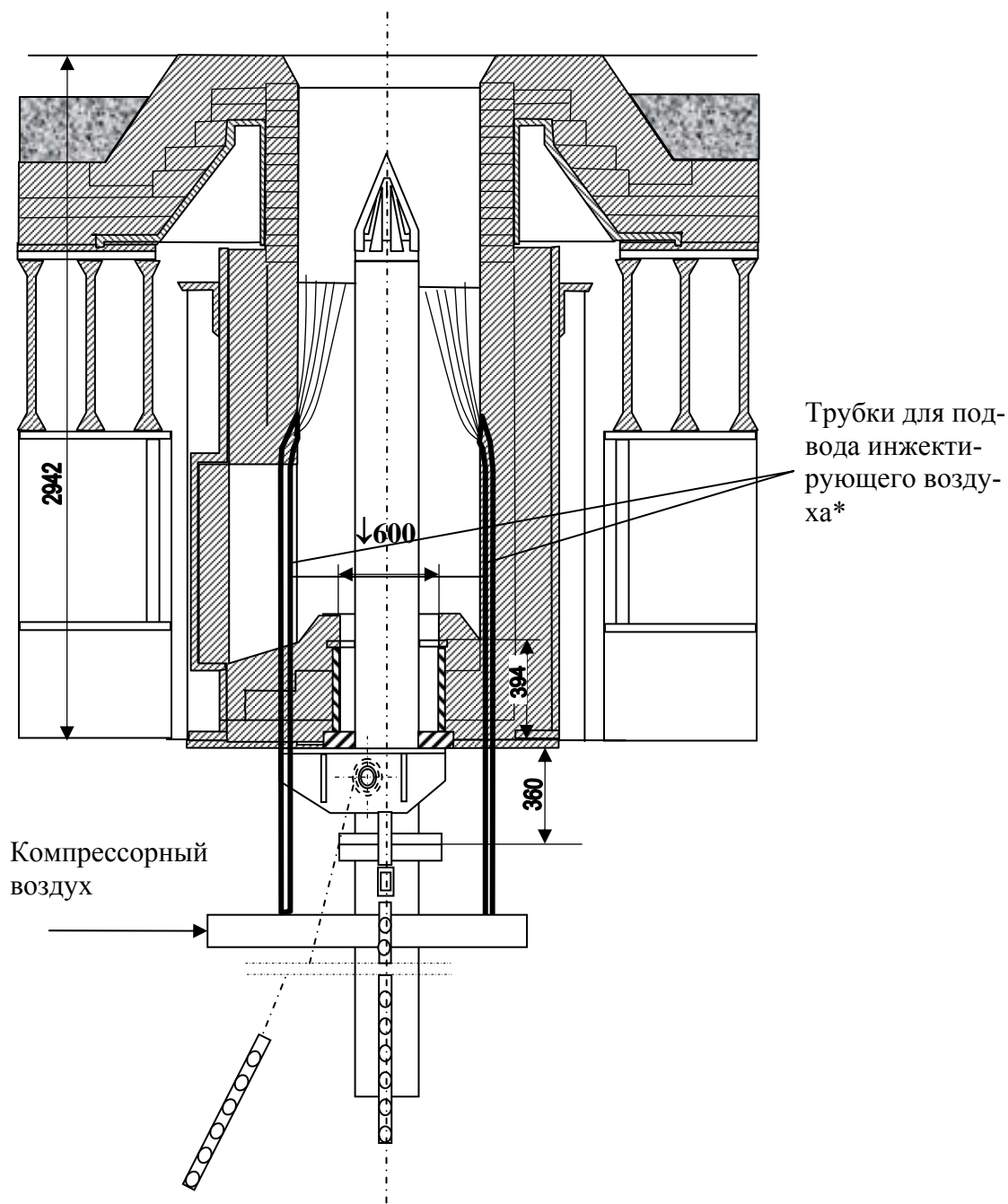


Рис.2. Схема установки многосоплового инжектора в кольцевом канале горловины ячейки*

*Количество трубок- 8шт. Трубки устанавливаются в углублениях футеровки наружного периметра кольцевого канала подвода горячего воздуха. Диаметр трубок~25мм. Выходные сечения концов, т.е. сопел трубок- 49-92мм². Сопла трубок получаем сплющиванием концов трубок до необходимого выходного сечения. Угол отклонения концов трубок от вертикали должен составлять 5-6⁰.

Расчеты показали, что использование многосоплового инжектора при его установке в кольцевом канале в горловине ячейки перед выходным сечением из горловины обеспечит понижение давления в

воздушном тракте керамического рекуператора на 7-15 мм.в.ст., что устранил утечки воздуха в рекуператоре на дымовую сторону. Это позволит поддерживать общую тепловую мощность колодца на начальном, высоком, постоянном уровне в течение всей межремонтной кампании колодца.

В свою очередь стабильная работа ячейки на повышенной общей тепловой мощности и контролируемом качестве сжигания топлива позволит повысить производительность колодца на 15-20% и уменьшить удельные показатели расхода топлива на 10÷15%.

Литература

1. Л.Г.Аксельруд и др. Нагревательные колодцы. М., Научно-техническое издательство, 1962, 236 стр.
2. С.И.Аверин и др. Расчеты нагревательных печей, Киев, "Техника", 1969, 540 стр.
3. В.А.Арутюнов и др. Металлургическая теплотехника. М., "Металлургия", 1974, 672 стр.
4. В.А. Кривандин, Б.Л.Марков. Металлургические печи. М., "Металлургия", 1977, 464 стр.
5. Ю.И.Розенгарт и др. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах. Киев-Донецк, "Выща школа", 1986, 298 стр.

Рукопись поступила 01.05.02.