

гих способах очистки той же эффективности. Полученные результаты свидетельствуют о том что использование конденсационного пылеосаждения позволит повысить эффективность очистки и сократить затраты на нее.

#### Литература

1. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Очистка газов мокрыми фильтрами. – М.: Химия, 1972.
2. Ровин С.Л., Ровин Л.Е., Селютин А.М., Русая Л.Н., Герасимова О.В. Низкоэнергетическая система очистки дымовых газов //Литье и металлургия. – 2002. – № 2. – С. 118-120.

## РАЗРАБОТКА ДВУХХОДОВОГО РАДИАЦИОННОГО РЕКУПЕРАТОРА ДЛЯ ВАГРАНКИ МИНСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА

С.А. Кроплевский

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ткаченко А.В.

Процессы плавки металлов в литейном производстве являются наиболее энергоемкими. Основная доля чугуна выплавляется в вагранках, имеющих термический КПД, не превышающий 40-45 %. Часть тепла топлива теряется с отходящими газами. Еще меньшую величину имеет КПД нагревательных и термических, в том числе обжиговых, печей от 7 до 15 %.

Топливо в РБ является дорогостоящим импортируемым ресурсом. В связи с этим проблема экономии топлива, снижение энергоемкости производства отливок, а также пути повышения эффективности использования топлива в печах имеют особую актуальность.

Одним из наиболее эффективных путей сокращения удельного расхода топлива является подогрев воздуха, необходимого для сжигания топлива в печи, за счет высокотемпературного тепла отходящих газов. При этом возврат тепла в печь достигает от 30...35 % (одноступенчатый подогрев) до 60...65 % – при двухступенчатом подогреве.

Подогрев дутья за счет тепла отходящих газов является наиболее эффективным средством повышения экономических, экологических и металлургических характеристик ваграночной плавки. За счет повышения температуры дутья, соответственно, увеличивается температура в зоне горения кокса, что приводит к повышению температуры выплавляемого чугуна и шлака. При прочих равных условиях на каждые 100 °С подогрева дутья температура металла практически увеличивается на 25-30 °С. Повышение температуры металла и шлака способствует улучшению качества выплавляемого чугуна и снижению брака отливок. Кроме того, улучшаются эксплуатационные характеристики вагранки. Если значительного повышения температуры жидкого металла не требуется, то за счет подогрева дутья обеспечивается экономия кокса: при подогреве на каждые 100 °С сокращение расхода кокса составляет 6-8 % от веса металлозавалки.

Подогрев дутья за счет тепла отходящих газов предполагает интенсивное сжигание оксида углерода (СО), что приводит к резкому сокращению выбросов СО в атмосферу, соответственно, уменьшается плата за выбросы.

В настоящее время подавляющая часть вагранок в технически развитых странах работает на горячем дутье с температурой 500 °С и более. При этом расход кокса снижается на 30-35 %. Подобный нагрев осуществляется в комбинированных двух-

ступенчатых рекуператорах или воздухоподогревателях, работающих на природном газе. Высокотемпературный нагрев в рекуператорах возможен при условии предварительной тонкой очистки ваграночных газов, что возможно только в вагранках закрытого типа, когда газы отбираются из вагранки с помощью дымососа, охлаждаются, обеспыливаются и затем сжигаются в топке рекуператора. Такие комплексные ваграночные установки достаточно сложны в эксплуатации и требуют высокого уровня автоматизации, дополнительных площадей и значительных капитальных затрат (в 5-10 раз больше, чем вагранка).

Нагрев дутья до (300-350) °С технически значительно проще и может использоваться в вагранках открытого типа. Расход кокса в этом случае снижается на 20-25 % от исходного. В СССР и др. странах накоплен достаточно большой опыт по использованию встроенных рекуператоров различного типа. Наиболее эффективными и надежными в эксплуатации являются радиационные щелевые рекуператоры, устанавливаемые непосредственно в трубе вагранки выше завалочного окна.

Исходя из конкретных условий литейного цеха Минского автомобильного завода, может быть использован встроенный щелевой одно-или двухходовой радиационный рекуператор. Нагрев дутья при оптимальном режиме плавки обеспечивается до 300-350 °С за счет тепла отходящих газов. Условием эффективной работы рекуператора является устойчивое горение газов в трубе вагранки, где устанавливается рекуператор, при температуре 900-1100 °С.

Стабильное горение обеспечивается за счет непрерывного поджигания ваграночных газов в зоне завалочного окна горелками, работающими на газообразном топливе. Горелки включаются и выключаются автоматически в зависимости от температуры газов ( $t_r$ ) в зоне горения выше завалочного окна (при  $t_r > 900$  °С горелки выключаются).

Рекуператор монтируется непосредственно над завалочным окном вагранки. Несущей конструкцией и одновременно наружным корпусом является ствол вагранки. Внутренний корпус рекуператора представляет собой цилиндр диаметром 1,25 м, выполненный из нержавеющей жаропрочной стали толщиной 8 мм. Высота рабочей части 13 м. Внутренний корпус снабжен компенсаторами линейного расширения. Между внутренним корпусом и кожухом вагранки устанавливается промежуточная обечайка из конструкционной стали толщиной 4 мм. Воздух от воздуходувки поступает в коллектор над завалочным окном, из коллектора по щелевому каналу поступает в кольцевое пространство и движется вверх между корпусом вагранки и обечайкой, где нагревается до 60-100 °С, затем – сверху вниз по каналу между обечайкой и внутренним корпусом, где нагревается до 350-400 °С. Горячий воздух собирается в коллектор и отсюда подается в фурмы вагранки. Температура на входе в рабочую зону вагранки составляет 300-350 °С.

Рекуператор оснащается системой КИПиА и безопасности. Во избежание перегрева при остановках вагранки предусматривается его принудительная продувка и сброс горячего воздуха.

Отходящие ваграночные газы имеют температуру 250-300 °С на выходе из слоя шихты. Состав газов: CO<sub>2</sub>-(10-12) %; CO-(12-18) %; O<sub>2</sub>-(0-0,5) %; SO<sub>2</sub>-(0,1-0,2) %; NO-(0,01-0,05) %; N<sub>2</sub> – остальное.

После разбавления воздухом, подсасываемым через завалочное окно, расход газов может увеличиваться в 1,5-2,5 раза, соответственно меняется концентрация компонентов.

В случае прорыва из слоя шихты в зону завалочного окна высокотемпературных струй газов с температурой 650 °С ваграночные газы воспламеняются. При этом СО сгорает с выделением большого количества тепла и газы нагреваются до 900-1100 °С. Горение в трубе вагранки неустойчивое из-за высокой скорости движения (10-15 м/с) и нестабильного состава. Устойчивости горения и соответственно дожигания газов СО можно достичь при постоянном поджигании с помощью горелок. Кроме того, высота трубы (дина пути горения) должна быть не менее восьми диаметров, т. е. ~ 8 м, а температура 1000-1100 °С. При этом остаточная концентрация СО будет ~ 0,1-0,2 %, т. е. ~ 1-2 г/м<sup>3</sup> (при исходной 150-220 г/м<sup>3</sup>). В час вагранка выбрасывает без дожигания 1000-1500 кг СО. При эффективном дожигании 8-12 кг СО.

Количество тепла, которое уносят ваграночные газы составляет ~1,2-1,3 млн кДж на тонну производительности вагранки. Всего 14-15 млн кДж при производительности 12 т/ч, т. е. примерно половину тепла, получаемого от сжигания кокса. Количество тепла, необходимое для нагрева 10000 м<sup>3</sup> дутья до 350 °С составляет 4,68 - 5,2 млн кДж, или (25 - 35) % от тепла отходящих газов.

Техническая характеристика:

Производительность вагранки - (12) т/ч.

Расход дутья -  $(10 - 12) \times 10^3$  м<sup>3</sup>/час.

Расход отходящих ваграночных газов до разбавления -  $(12 - 14) \times 10^3$  м<sup>3</sup>/час.

То же после разбавления воздухом -  $(18 - 22) \times 10^3$  м<sup>3</sup>/час.

Температура отходящих газов до дожигания - (250-300) °С.

То же при дожигании - (900-1100) °С.

Запылённость газов - (3-6) г/м<sup>3</sup>.

Концентрация СО до дожигания - (12-18) % - (150-220) г/м<sup>3</sup>.

То же после дожигания - (0,1-0,2) % - 1,2-2,5 г/м<sup>3</sup>.

Количество СО выбрасываемого в атмосферу:

Без дожигания - (1000 - 1500) кг/ч

После дожигания до 0,1% - (8-12) кг/ч

Расход кокса - 18,5 % от металлозавалки.

То же на одну тонну годного литья - 300 кг.

Температура металла на желобе - (1340-1400) °С.

Выпуск литья - (12 - 15) тыс. т./год.

Стоимость одной тонны кокса - 39910000 белорусских рублей (~ 130 \$).

Снижение расхода кокса на 20 % при подогреве дутья до 300 °С составляет 37 кг на тонну металлозавалки или 60 кг/т годного литья, что за год составляет 720 - 900 т кокса. Сокращение затрат на кокс составит, соответственно, 93,6-117 тыс. \$ или (28,7 - 35,9 млрд бел. р. по курсу НБ). Стоимость рекуператора включает затраты на материалы, изготовление и монтаж, в том числе сталь 15Х28: 2,4т-2 млрд бел. руб = 4,8 млрд бел. р.

Сталь конструкционная:

Лист 1,6 т×150 млн р./т=240 млн р.

Прокат 2,8 т×210 млн руб/т=588 млн р.

Приборы КИП и А - 3 млрд р.

Изготовление нестандартных узлов (ориентировочно) - 1,5 млрд р.

Монтажные работы - 1,5 млрд р.

ВСЕГО: 6,828 млрд р.

Экономический эффект от сокращения расхода кокса составляет (28,7-35,9) - 6,828=(21,77 - 28,7) млрд бел. р. в год.

При внедрении рекуператора и системы дожигания сокращаются выбросы CO на 990–1400 кг/ч или 2000–2400 т CO в год.

Окупаемость затрат по внедрению подогрева дутья составит менее 0,5 года. В расчёте не учтён эффект от сокращения брака отливок. Помимо экономического эффекта внедрение подогрева дутья за счёт тепла отходящих газов имеет социальный эффект, так как сокращаются вредные выбросы в атмосферу.

## ПРИМЕНЕНИЕ УТИЛИЗАТОРОВ ТЕПЛА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ ВТОРИЧНОЙ ПЛАВКИ МЕТАЛЛОВ

Е.А. Зюзьков

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Жаранов В.А.

Развитие технического прогресса в литейном производстве обеспечивает повышение общего уровня качества продукции машиностроительных предприятий. Одним из актуальных направлений совершенствования литейной технологии является внедрение комплексных плавильных систем, использование вторичных энергоресурсов (в том числе и тепла отходящих технологических газов печей), сокращение вредных выбросов.

В большинстве случаев промышленные топливные печи работают с низким термическим КПД. Низкий термический КПД печей обусловлен в основном очень большими потерями тепла с отходящими дымовыми газами. Таким образом, становятся очевидными принципиальные пути повышения тепловой экономичности топливных печей: снижение потерь теплоты с уходящими дымовыми газами или рациональное использование этого вида вторичных энергетических ресурсов.

Системы очистки вредных выбросов, образующихся при плавке металлов, являются важнейшей составной частью современных комплексных плавильных установок. Экологические требования к качеству очистки выбросов ориентировочно составляют по пыли и SO<sub>2</sub> не более 0,1 г/м<sup>3</sup>, по CO – не более 0,1 %, NO<sub>x</sub>, примерно 0,05 г/м<sup>3</sup>. Причем, актуальность оснащения печей эффективными аппаратами очистки постоянно возрастает. Экологические факторы в ряде случаев определяют сам выбор типа плавильного агрегата. При выборе очистных устройств учитывают физико-химические свойства выделяющихся вредных веществ, т. е. состав размер пылевых частиц, их плотность и концентрацию, количество и температуру выделяющихся газов. Дополнительным условием, которое необходимо учитывать при выборе средств очистки является стремление к сокращению удельных энергозатрат, как при плавке, например, за счет рекуперации тепла, так и непосредственно в процессе очистки.

На рис. 1 представлена структурная схема производственного процесса выплавки свинца и алюминия, а также системы аспирации и очистки выбросов.