

существенного повышения экологической безопасности участков, специализирующихся на переработке алюминиевой стружки, необходимо обратить внимание на более тщательную ее подготовку к плавке, включая обезжиривание и сушку [4].

### Литература

1. **Шуранков, С.Е.** Разработка технологии переплава высокоокисленных отходов алюминиевых сплавов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / С.Е. Шуранков; БГПА. – Минск, 2001. – 19 с.

2. **Новичков, С.Б.** Теория и практика переработки отходов алюминия в роторных наклонных печах: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.16.02 / С.Б. Новичков; Иркутск. гос. тех. ун-т. – Иркутск, 2007. – 40 с.

3. **Шмитц, К.** Рециклинг алюминия. Справочное руководство / К. Шмитц, Й. Домагала, П. Хааг. – М.: «Алюсил МВиТ», 2008. – 528 с.

4. **Волочко, А.Т.** Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий / А.Т. Волочко, М.А. Садоха. – Минск: Бел. наука, 2011. – 387 с.

УДК 621.74:504.06(075.8)

**Н.Г. МАЛЬКЕВИЧ**, канд. техн. наук,  
**Н.В. СИДОРСКАЯ** (БНТУ)

### **АНАЛИЗ СОСТАВА ВАГРАНОЧНЫХ ГАЗОВ И ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ**

Основными источниками выбросов в атмосферный воздух в литейном производстве являются вагранки, доля которых составляет около 71 % объема выбросов от предприятия.

Модификации вагранок различаются типом дутья, видом используемого топлива, конструкцией горна, шахты, колошника. Это определяет состав исходных и конечных продуктов плавки, а, следовательно, количество и состав отходящих газов и их запыленность.

В таблице 1 приведена общая характеристика ваграночных газов для нормального ряда открытых вагранок [1].

Таблица 1 – Общая характеристика ваграночных газов

Показатель	Производительность вагранки, т/ч								
	2	3	4	5	7	10	15	20	50
Диаметр шахты вагранки, мм	600	700	800	900	100	300	500	800	100
Среднее количество выбрасываемых газов, тыс. м <sup>3</sup> /ч	2,3	3,2	4,1	5,4	7,8	11	14,5	20,5	27
Температура газов, °С	160	160	170	180	200	250	250	300	300
Среднее количество, кг/ч:									
пыли	23	30	40	55	80	100	140	200	200
оксида углерода	130	190	300	370	500	700	920	100	500
диоксида серы	3	5	6	8	11	13	17	30	23
оксидов азота	0,1	0,15	0,25	0,3	0,45	1,2	1,2	1,8	2,2

В среднем при работе вагранок на каждую тонну чугуна приходится 1000 м<sup>3</sup> выбрасываемых в атмосферу газов, содержащих 5–20 % оксида углерода; 5–17 % диоксида углерода; до 2 % кислорода; до 1,7 % водорода; до 0,5 % сернистого ангидрида; 70–80 % азота.

Значительно меньшее количество выбросов из вагранок закрытого типа. Так, в дымовых газах отсутствует оксид углерода, а КПД очистки от взвешенных частиц достигает 98–99 %.

В результате обследования вагранок горячего и холодного дутья установлен диапазон значений дисперсного состава пыли в ваграночных газах, представленный в таблице 2.

Таблица 2 – Дисперсный состав ваграночной пыли, %

Дутье	Диаметр частиц, мкм					
	5	5–10	10–20	20–40	40–60	60
Холодное	5–14	2–12	5–6	6–12	12–26	30–70
Горячее	15–17	13–20	4–16	5–13	10–16	18–53

Из таблицы 2 видно, что ваграночная пыль характеризуется широким спектром дисперсности, но основу выбросов составляют высокодисперсные частицы.

Химический состав ваграночной пыли различен и зависит от состава металлозавалки, шихты, состояния футеровки, вида топлива, условий работы вагранки. Типичный пример химического состава ваграночной пыли приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав ваграночной пыли, %

Компоненты пыли	Среднее значение	Предельные значения	Компоненты пыли	Среднее значение	Предельные значения
SiO <sub>2</sub>	30	10–45	C	30	10–64
CaO	4	2–18	PbO	–	до 8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	0,5–25	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4	–
MgO	2	0,5–5	Na <sub>2</sub> O	1,5	–
e(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,Fe)	14	5–26	K <sub>2</sub> O	1,0	–
MnO	2	0,5–9			

Основным источником вредных выбросов в атмосферу от литейных цехов являются коксовые вагранки. При плавке 1 т жидкого чугуна, при отсутствии очистных установок в атмосферу выбрасывается до 29 кг пыли, оксида углерода – 180–200 кг, сернистого ангидрида – 1,3–1,5 кг, оксида азота – 0,12–0,14 кг. Перспективным агрегатом для вторичной плавки чугуна являются бескоксовые вагранки, работающие на природном газе. При этом валовые выбросы пыли и вредных газовыделений снижаются в десятки раз, энергетические затраты снижаются в 1,5–2,0 раза. Качество выплавляемого чугуна значительно выше за счет снижения содержания в нем серы, газов и неметаллических включений, загрязняющих металл при контакте с коксом.

Существенную роль в формировании качественных характеристик выплавляемого чугуна, а также технико-экономических характеристик плавильного агрегата играет холостая огнеупорная насадка.

Для эффективного расплавления металлической шихты в шахте вагранки и обеспечения перегрева расплавленного металла до 1500–1550 °С неременным условием является искусственное создание зоны плавления, то есть определенного пространства между металлической шихтой и подиной вагранки. В коксовых вагранках такая зона создается «холостой» колошей, которая представляет собой слой кокса толщиной от 0,5 до 1,0 м в зависимости от вагранки.

В газовых вагранках роль такого буферного слоя играет холостая огнеупорная насадка, которая в зарубежной практике применяется в виде шаров диаметром до 150 мм, изготовленных из керамических материалов. К составам материалов огнеупорной насадки предъявляются высокие требования по прочности, огнеупорности, токсичности, пористости, способности взаимодействовать с расплавленными шлаком и чугуном, а также с продуктами сгорания топлива. Высокая прочность огнеупорных изделий, в том числе при температурах 1500–1700 °С, необходима для удержания столба шихты в шахте вагранки. При этом в холостой насадке должно быть свободное пространство для протекания жидкого металла, шлака и прохода отходящих газов.

Актуальность замены коксовых вагранок газовыми объясняется тем, что до 85 % чугуна плавят в коксовых вагранках, а запасы коксующихся углей истощаются [2].

В процессе эксплуатации газовой вагранки (ГВ) выявлены следующие их преимущества перед коксовыми вагранками:

- возможность стабильно выплавлять чугуны широкого диапазона с различным содержанием углерода и низким содержанием серы;
- выплавленный чугун имеет перлитную структуру с большой дисперсностью металлической матрицы, обладает меньшим эвтектическим зерном и величиной графитных включений;
- механические свойства чугуна, полученного в ГВ, выше; его чувствительность к изменению толщины стенки меньше; обладает хорошими литейными свойствами при явной тенденции к уменьшению суммарного объема усадочных пустот и преобладанию концентрированной усадочной раковины;
- в условиях трения со смазкой чугун имеет большую износостойкость;
- выше ее герметичность;

– в ГВ возможно применять до 60 % стального лома и обеспечивать температуру чугуна до 1530 °С при содержании углерода 3,7–3,9 %;

– одна ГВ может работать без ремонта 2–3 недели;

– экологическая ситуация при переходе с кокса на природный газ изменяется коренным образом: выделение пыли в атмосферу уменьшается в 5–20 раз, содержание CO – в 50 раз, SO<sub>2</sub> – в 11 раз.

Простейшими уловителями пыли из ваграночных газов являются сухие цилиндрические и камерные искрогасители, устанавливаемые на трубах вагранок. Оседание пыли в этих аппаратах происходит в результате снижения скорости газовых потоков и многократных резких поворотов потока на 90 и 180°. В таких пылеуловителях осаждается только 40 % ваграночной пыли, поэтому в настоящее время их применение запрещено [3].

Более эффективны мокрые пылеуловители, в которых пыль осаждается не только за счет инерционных сил, но и за счет столкновения частичек пыли с мельчайшими каплями воды. Однако и в этом случае осаждается не более 75–80 % пыли, остаточная запыленность газов составляет 0,6–1,0 г/м<sup>3</sup>, а выброс пыли на 1 т выплавляемого чугуна составляет 1,5–2 кг. Как сухие, так и мокрые пылеуловители устанавливают на открытых вагранках, где движение газов через них осуществляется в результате естественной тяги грубы.

Более эффективные пылеуловители на открытых вагранках можно применять только при увеличении высоты дымовой трубы или использовании воздушных эжекторов. Двухкамерный пылеуловитель устанавливают на трубу вагранки. В сухой камере происходит очистка газов от наиболее крупных частиц пыли. Камера мокрой очистки газов располагается над камерой сухой очистки и состоит из корпуса, изготовленного из кислотостойкой стали, водоохлаждаемого зонта, в который вода подается через опорные трубы, а вытекает через верхнее отверстие. Газы из трубы вагранки проходят через сухую камеру и в кольцевом зазоре промываются водой, подаваемой через форсунки и стекающей с крыши зонта. Движение газов через пылеуловитель осуществляется за счет разрежения, создаваемого эжектором, через который в трубу пылеуловителя с высокой скоростью подается воздух с помощью специального вентилятора. В такой установке осаждается до 90 % пыли, остаточная

запыленность снижается до 0,2–0,6 г/м<sup>3</sup>, а выброс пыли составляет 1 кг на 1 т выплаваемого металла [3].

Более высокая степень очистки может быть достигнута только в вагранках закрытого типа, где за счет искусственной тяги может быть преодолено большое сопротивление движению газов в аппаратах газоочистки.

В многоступенчатых системах газоочистки предварительная очистка газов осуществляется сухим или мокрым способом в инерционных пылеосадочных агрегатах или в циклонах и скрубберах различной конструкции. Тонкая (окончательная) очистка возможна в тканевых фильтрах, электростатических пылеуловителях, аппаратах типа дезинтеграторов, эжекторных скрубберах и скоростных пылеуловителях с трубами Вентури [4].

Высокую степень очистки газов от пыли обеспечивают тканевые фильтры и электростатические пылеуловители, но они не получили распространения из-за сложности обслуживания, немалых затрат и больших занимаемых площадей [3].

Принцип работы скоростных пылеуловителей с трубами Вентури заключается в подаче потока воды со скоростью 180–200 м/с в поток газа. Вследствие большой разности скоростей потоков происходит перемешивание с каплями воды и осаждение мельчайших частиц пыли на каплях воды (коагуляция пыли), после чего пыль хорошо улавливается с помощью обычных инерционных пылеуловителей типа прямоочных скрубберов или циклонов. При перепаде давлений в трубе Вентури более 147 ГПа КПД пылеуловителя достигает 98–99 %, а выброс пыли снижается до 0,1 кг на 1 т выплаваемого чугуна.

В системе газоочистки с дезинтегратором Тайзена коагуляция пыли осуществляется в результате механического перемешивания газов с водой, подаваемой через вал ротора дезинтегратора. Газы поступают предварительно охлажденными и очищенными от крупных частиц в мокром скруббере башенного типа. Укрупненная в дезинтеграторе пыль осаждается в каплеосадителе, в котором в качестве сепаратора применяется слой засыпки из колец Рашига. Дезинтегратор является одновременно коагулятором пыли и газодувной машиной, обеспечивающей высокую степень очистки газов; надежен в эксплуатации и обеспечивает перемещение газов через систему газоочистки, но требует тщательного соблюдения техноло-

гической дисциплины: при обслуживании не допускает даже кратковременного перерыва в подаче воды, сложен в изготовлении и ремонте.

В системе газоочистки с эжекторным скруббером коагуляция частиц пыли и перемещение частиц газов через систему газоочистки также осуществляется с помощью форсунки, выбрасывающей струю воды с высокой скоростью в смесительную камеру в направлении перемещения форсуночных газов. Струя воды эжектирует поток газов, и вследствие большой разности скоростей воды и газа происходит их перемешивание и осаждение частиц пыли из газового потока на каплях воды, которые осаждаются в инерционном каплеосадителе.

Многоступенчатые системы газоочистки занимают много места и с трудом вписываются в существующие литейные цехи при установке в них вагранок закрытого типа. Поэтому для технического перевооружения действующих литейных цехов удобно использовать комбинированные пылеуловители, которые устанавливаются непосредственно на трубе вагранки, так и рядом с вагранкой в конструкциях с отбором газов ниже уровня загрузки шихты [4].

В ваграночных газах обычно содержится от 8 до 25 %  $\text{CO}$  – угарного сильно токсичного газа. Единственным способом очистки ваграночных газов от  $\text{CO}$  является их дожигание, причем эта задача тем сложнее, чем меньше содержание его в газе. При дожигании  $\text{CO}$  выделяется от 20 до 60 % всей тепловой энергии топлива, сжигаемого в вагранке. Эта теплота в той или иной степени может быть использована в ваграночных установках, и в зависимости от этого вагранки могут быть подразделены на три группы: не использующие теплоту ваграночных газов; использующие теплоту от дожигания  $\text{CO}$ ; использующие как теплоту от дожигания  $\text{CO}$ , так и теплоту ваграночных газов.

Использовать теплоту, выделяющуюся при дожигании  $\text{CO}$ , для нагрева ваграночного дутья можно как во встроенных в трубу вагранки, так и в отдельно стоящих рекуператорах. Воздух, проходя по трубам, нагревается до 350 °С. Температура подогретого воздуха в таких рекуператорах непостоянна, так как зависит от режима работы вагранки, периодичности очистки поверхности труб от пыли.

Отдельно стоящие воздухонагреватели или рекуператоры по способу передачи теплоты подразделяют на:

- конвективные;
- радиационные;
- радиационно-конвективные.

Конвективные рекуператоры работают при температуре газов не выше 900 °С, обеспечивая подогрев воздуха до 500 °С. Дожигание СО осуществляется в специальной камере, предварительно нагретой до температуры 600 °С при сжигании природного газа. Устойчивое дожигание газов в этой камере обеспечивается наличием постоянного горящего факела природного газа, контролем и регулированием заданной температуры в топке (800–1000 °С), точным соотношением ваграночных газов и воздуха и их хорошим перемешиванием.

При температуре продуктов горения выше 800 °С основное количество теплоты передается излучением (радиацией), а не конвекцией. Поэтому рекуператоры, работающие при высоких температурах продуктов горения, называются радиационными. Они имеют высокую теплостойкость, что позволяет им работать при температурах продуктов горения до 1300 °С, подогревая воздух до 700 °С.

Известны два типа радиационных рекуператоров – щелевые и трубчатые. В щелевых рекуператорах, представляющих собой два вставленных один в другой цилиндра, сваренных из листов жаропрочной стали, продукты горения проходят по внутреннему цилиндру, а в кольцевом пространстве между цилиндрами пропускается нагреваемый воздух. Чаще применяют трубчатые радиационные рекуператоры, где воздух проходит по трубам, расположенным по периметру шахты. Дымовые газы проходят по сечению шахты. Дожигание ваграночных газов происходит в топке с помощью специальной турбулентной горелки после предварительного смешивания воздуха с газом. Топка предварительно разогревается до 800 °С продуктами горения природного газа. Холодный воздух подается в коллектор, а горячий отводится через другой коллектор.

Радиационные рекуператоры или воздухонагреватели имеют высокий коэффициент теплоотдачи при температурах продуктов горения выше 800 °С. Для более эффективного использования их тепло-



ты в интервале 1300–2000 °С применяют комбинированные радиационно-конвективные воздухонагреватели.

Ваграночные газы, отдавшие свою теплоту на подогрев дутья в рекуператорах, имеют еще достаточно высокую температуру (400–600 °С) и могут быть использованы в качестве теплоносителя в других целях. Теплоту ваграночных газов, прошедших рекуператор, начали использовать в котлах-утилизаторах для нагрева воды, производства пара, который в некоторых случаях применяют даже для небольших тепловых электростанций, обеспечивающих электроэнергией ваграночные установки и другое оборудование литейного цеха.

Таким образом, эффективность систем очистки выбросов и дожигания ваграночных газов определяется модификацией и типом используемых вагранок.

### Литература

1. **Экология** литейного производства: учебное пособие для ВУЗов / Под ред. А.Н. Болдина, С.С. Жуковского. – Брянск: Изд. БГТУ, 2001. – 315 с.

2. **Черный, А.А.** Разработки применительно к газовой вагранке с огнеупорной холостой колошей / А.А. Черный. – Пенза, 2008. – 43 с.

3. **Промышленная экология** / под ред. В. В. Денисова. – М.; Ростов н/Д: Март, 2007. – 720 с.

4. **Росляков, П.В.** Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов / П.В. Росляков. – М.: изд. дом МЭН, 2007. – 336 с.

УДК 669.041

**А.М. СКИБАРЬ (ОАО «МАЗ»),  
П.С. ГУРЧЕНКО, д-р техн. наук (БНТУ)**

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОАО «МАЗ» НА 2013-2020 ГОДЫ**

Основой белорусского машиностроения являются крупные предприятия автомобилестроения, сельскохозяйственного машиностроения, приборостроения и радиоэлектроники, на долю которых приходится свыше 60 % производства отрасли. Учитывая, что пер-