

данные материалы обладают высокими температурами начала термической деструкции, и кратковременно сохраняют свои эксплуатационные свойства при температуре 400–450 °С.

Литература

1. James, Graff. Pulver-Trennmittel als Trennstoffe für das nache Jartaysend / Graff James, Paul Hibner, Paula Pachllke-Dumont, Thomas Schulte, Holder Schwarz, Michael Woodcock // Giesserei-Erfahrungsaustausch. – 1999. – 43. – № 7. – 361 p.

2. Зеленев, В.Н. Смазка пресс-форм литья под давлением / В.Н. Зеленев, Л.Е. Киселенко. – М.: Машиностроение, 1983. – 144 с.

3. Михальцов, А.М. Разделительные покрытия на основе кремнийорганических полимеров для литья под давлением алюминиевых сплавов / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // Metallurgia: Респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск : Бел. наука, 2006. – Вып. 30. – С. 130–139.

4. Пивоварчик, А.А. Разработка разделительных покрытий на основе кремнийорганических материалов для пресс-форм литья под давлением / А.А. Пивоварчик, Л.М. Слепнева, В.А. Розум // Литейщик России. – 2007. – № 1. – С. 36–40.

УДК 621.745.56

Г.А. РУМЯНЦЕВА, канд. техн. наук,
Л.В. ТРИБУШЕВСКИЙ,
Б.М. НЕМЕНЕНОК, д-р техн. наук (БНТУ)

АНАЛИЗ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПЛАВКЕ ОКИСЛЕННЫХ ОТХОДОВ В КОРОТКОПЛАМЕННОЙ РОТОРНОЙ ПЕЧИ

Рост объемов потребления и расширение областей применения алюминия привело к увеличению количества мелкодисперсных и загрязненных отходов с содержанием алюминия от 40 до 85 %, эффективная переработка которых невозможна на традиционном обо-

рудовании. Важным этапом в повышении экономической эффективности работы предприятий вторичной металлургии является снижение издержек, связанных с образованием и утилизацией экологически опасных отходов. Самым распространенным агрегатом для извлечения алюминия из низкосортного сырья являются короткопламенные роторные печи с наклонной осью вращения. Установлено [1, 2], что при переработке мелкодисперсных отходов алюминия в таких печах результаты плавки существенно зависят от температуры, времени плавки, объема и состава флюса, частоты вращения печи. Выявлено, что замена чистых хлоридов натрия и калия на сильвинит и калийхлорэлектrolит не сказывается на металлургическом выходе, как и увеличение добавок криолита. Анализ химического состава проб, отбираемых в разные периоды плавки, показал, что содержание Fe, Cu, Mn, Zn и Si зависит от времени нахождения расплава в печи, температуры процесса и может увеличиваться в несколько раз.

Для достижения удовлетворительной степени извлечения алюминия необходимо применение большого количества флюсов (до 400 кг на 1 т алюминия), что приводит к образованию значительных объемов отходящих газов, для очистки которых требуется дорогостоящая и сложная аппаратура. Кроме того, возникает проблема переработки солевых шлаков, накапливающихся в больших количествах. Поэтому необходима оптимизация технологии переработки отходов алюминия с учетом экологических требований к защите окружающей среды.

В качестве объекта исследования была выбрана короткопламенная роторная печь емкостью 800 кг, работающая на жидком топливе. Загрузку короткопламенной роторной печи осуществляли с помощью поворотной тележки грузоподъемностью до 100 кг через загрузочное окно, которое затем закрывали подводимым на консолях горелочным щитом с блочной жидкотопливной горелкой типа БГ-Ж-0,34. Дымовые газы отводились по ходу плавки с помощью вентилятора-дымососа, подавались в циклон и далее в дымовую трубу. С целью локализации неконтролируемых выбросов в месте

сочленения горелочного щита с корпусом роторной печи предусмотрен зонд, соединенный с вытяжной вентиляцией.

На первом этапе исследований анализ пылегазовых выбросов от короткопламенной роторной печи проводили во время переплава шихты, состоящей из алюминиевых шлаков, сливов, спрессованных банок из-под напитков и другого низкосортного лома. При плавке использовали 8 % флюса (47 % KCl, 30 % NaCl, 23 % Na_3AlF_6), который загружали вместе с первой порцией шихты, составляющей 150 кг.

Пробы пыли в отходящих газах отбирали от боровов перед циклоном на протяжении всей плавки. Параллельно определяли содержание в газах CO, NO и NO_x с помощью электронного газоанализатора MSI 150 «EURO». Концентрацию хлоридов и фторидов контролировали по стандартным методикам. Результаты анализов показали резкие перепады концентраций анализируемых газов, что связано с частой разгерметизацией печи при дозагрузке в нее переплавляемых шлаков. При этом содержание CO и NO_x по ходу плавки соответственно изменялось с 28 до 2520 ppm и с 13 до 35 ppm.

Максимальные выбросы отмечались в начале плавки и на ее заключительной стадии при удалении сухого конечного шлака в контейнер. Если по ходу плавки запыленность не превышала $0,16 \text{ г/м}^3$, то при очистке печи от шлака в конце плавки запыленность в виде пиковых выбросов достигала $0,85 \text{ г/м}^3$ и продолжалась в течение 3–5 мин. Для более детального анализа исследовали пыль, которая осаждалась в циклоне.

В таблице 1 приведен химический состав и размер отдельных частиц пыли, отобранных из циклона при плавке в короткопламенной роторной печи. Видно, что химический состав частиц пыли представлен широкой гаммой элементов, как входящих в состав флюсов, так и содержащихся в переплавляемых отходах. При этом размерный диапазон частиц пыли изменяется от 95 до 340 мкм и встречаются частицы со средним размером около 640 мкм.

Таблица 1 – Химический состав и размер отдельных частиц пыли, отобранных из циклона от короткопламенной роторной печи

Номер частицы	Содержание элементов по массе, %													Средний размер частиц, мкм
	C	O	Al	Na	K	Ca	Cl	F	Si	Mg	Fe	Zn	Прочие элементы	
1	–	37,64	7,05	1,21	1,52	5,49	0,28	–	0,25	0,81	12,40	2,07	29,81 Ti; 1,46 Cr	250
2	5,84	8,68	70,66	0,21	0,12	–	0,23	–	10,39	–	1,56	0,78	0,59 Mn; 0,93 Cu	260
3	27,47	37,10	18,65	2,96	2,10	1,31	5,34	3,44	0,22	1,09	–	–	0,31 P	340
4	22,92	36,85	24,91	3,18	1,17	1,88	5,54	1,87	0,36	0,94	0,38	–	–	190
5	7,32	20,58	68,61	0,66	0,28	–	0,30	1,31	0,29	–	0,57	–	0,08 P	168
6	12,79	35,16	30,62	6,62	1,78	0,60	9,06	3,39	–	0,30	–	–	–	95
7	1,34	31,19	43,37	0,64	0,10	0,34	0,71	–	0,68	1,98	0,24	–	19,41 N	205
8	8,37	14,49	63,99	0,24	0,10	–	0,49	0,70	8,20	0,79	0,85	0,95	0,82 Cu	168
9	7,02	13,69	65,04	1,04	0,48	0,39	–	1,38	0,43	2,36	0,29	–	0,17 Ti; 7,71 N	135
10	13,20	32,38	40,87	1,66	0,21	0,71	1,52	–	2,15	1,20	0,96	4,56	0,38 Cu; 0,11 P; 0,08 S	145

Когда плавку проводили с небольшими добавками покровно-рафинирующего флюса, на поверхности металлического расплава образовалась шлаковая фаза, представляющая собой смесь оксидов, хлоридов, нитридов, основных компонентов сплава, загрязнений, вносимых шихтой, компонентов флюсов и частиц футеровки плавильного агрегата. При механическом перемешивании слипшиеся оксидные блоки образовывали окатыши, в которых концентрировалась соль и продукты окисления – оксид и нитрид алюминия. В сыпучей составляющей шлака соли оказалось меньше вдвое, а оксида и нитрида – в 3–5 раз, зато присутствовало много оксида кремния. Учитывая, что шлак был сухим и не смачивался расплавом, то, благодаря мощному дымососу, он уносился вместе с дымовыми газами и оседал в дымоотводящей системе и циклоне. Поэтому в составе пыли встречались шпинели, корунд, нитриды алюминия, карбидные соединения и хлориды щелочных металлов.

Для выяснения механизмов потерь металла исследовали состав пыли, оседающей в различных участках дымохода при плавке в короткопламенной роторной печи. При определении состава пыли помимо элементного анализа использовали рентгеноструктурный анализ, позволяющий определить металлический алюминий и алюминий, связанный в химические соединения. Образующиеся при резком охлаждении отходящих газов частицы металлического алюминия крупнее частиц оксидов или конденсированных частиц солевых возгонов, поэтому они оседали быстрее отдельных частиц печной пыли. В результате наибольшее содержание металлического алюминия отмечалось в начале газохода и составляло 25–30 %.

На втором этапе исследований анализировали состав пылегазовых выбросов от короткопламенной роторной печи при плавке в ней стружки алюминиевых сплавов в присутствии жидкого флюса. Первоначально в печь загружали флюс в количестве 40 % от массы переплавляемой стружки. После расплавления флюса и образования жидкой флюсовой ванны в нее порциями загружали стружку, которую замешивали в расплав за счет вращения печи. Общая запыленность в газоходе была значительно ниже первой серии плавов и составляла не более $0,09 \text{ г/м}^3$. Следует отметить также и повышенную концентрацию хлоридов в газоходе от боровов.

Чтобы оценить количество различных компонентов шихтовых материалов, теряемых в виде мелкой пыли, анализировали пробы

пыли, уловленной газоочистными сооружениями. Результаты микрорентгеноспектрального анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа пыли, отобранной из циклона при плавке алюминиевой стружки в короткопламенной роторной печи с 40 % флюса

Номер пробы	Содержание элементов по массе, %								
	O	F	Cl	Na	K	Mg	Al	Si	C
1	14,96	8,89	32,56	18,14	9,29	0,58	3,00	0,48	12,10
2	16,30	9,46	31,96	17,48	9,36	0,25	2,83	0,34	11,97
3	14,26	8,76	33,06	17,69	9,84	0,53	2,73	0,50	12,58
4	13,62	7,98	34,46	18,02	10,18	0,62	2,24	0,36	12,52
5	15,53	9,23	32,71	17,76	9,39	0,59	2,34	0,38	12,07
Среднее	14,93	8,86	32,95	17,82	9,62	0,52	2,65	0,41	12,24

Из приведенных данных видно, что при таком варианте плавки в составе пыли содержится вдвое меньшее количество компонентов и ее частицы имеют более стабильный состав.

Такое положение можно объяснить отсутствием прямого контакта металла с газовой фазой и факелом пламени, что исключало интенсивное окисление компонентов сплава, разрушение хрупких оксидных плен и унос их отходящими газами. Основную массу пыли (более 70 %) составляли частицы NaCl и KCl, главные компоненты солевого шлака, что свидетельствует о значительных потерях соли с пылью при данной технологии плавки. Это происходит в основном за счет вращения печи в первом периоде плавки при расплавлении флюса. Однако при такой технологии возникает необходимость переработки или захоронения значительных объемов солевых шлаков, что только осложняет экологическую ситуацию при рециклинге алюминия.

Поэтому для дальнейших исследований использовали добавку флюса в количестве 12 % от массы металлозавалки и наряду со стандартным рафинирующим флюсом (47 % KCl, 30 % NaCl, 23 % Na_3AlF_6) применяли покровно-рафинирующий флюс (13 % KCl, 55 % NaCl, 17 % Na_3AlF_6 , 10 % Na_2CO_3 , 5 % $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

В разогретую печь перед началом плавки засыпали около 4,0 % флюса и по мере его расплавления в несколько приемов загружали

подготовленную алюминиевую стружку, которую замешивали в расплав за счет вращения печи. Оставшийся флюс засыпали постепенно по мере завалки шихты и ее расплавления. В конце плавки расплав перегревали примерно до 780 °С и сливали в ковш для дальнейшей разливки в чушки, а печь наклоняли в крайнее верхнее положение для сброса шлака в контейнер.

Следует отметить существенные колебания газа по запыленности и химическому составу для обеих серий плавки при загрузке шихтовых материалов и во время плавки. Удельные выбросы загрязнений при загрузке шихты и во время плавки приведены на рисунках 1, 2.

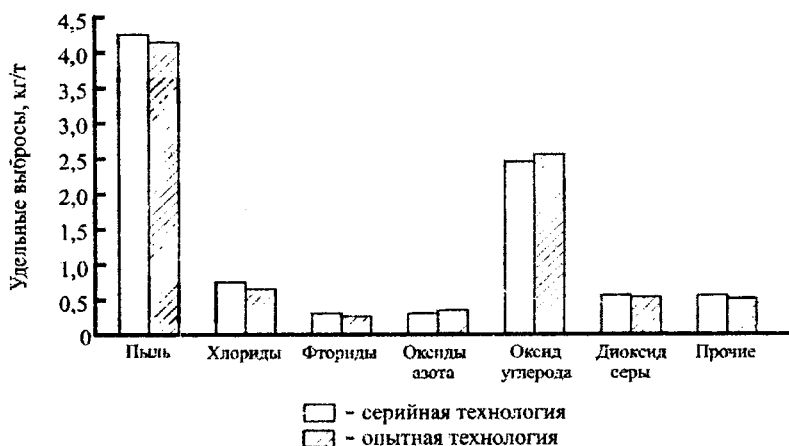


Рисунок 1 – Удельные выбросы загрязняющих веществ (кг/т) в период загрузки алюминиевой стружки в короткоплазменную роторную печь

Следует отметить, что по обеим технологиям максимальные пылегазовые выбросы отмечаются при загрузке шихты, доля которых составляет около 72 %. Это связано, в первую очередь, с выгоранием загрязнений, вносимых шихтой – остатков масел, смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), органических соединений. Присутствие диоксида серы в отходящих газах связано с наличием соединений серы в печном топливе и ее содержанием в СОЖ, которая в виде пленки осталась на поверхности алюминиевой стружки. Как следует из рисунков 1, 2 использование нового флюса незначительно

но снижает показатели удельных выбросов, поскольку их главным источником являются компоненты шихты. В столбце «прочие» приведено суммарное значение удельных выбросов углеводородов $C_{11}-C_{19}$, формальдегида, ацетона, уксусной кислоты, фенола, метанола и толуола, которые выделяются при завалке шихты в разогретую печь. При плавке данные соединения не выделяются.

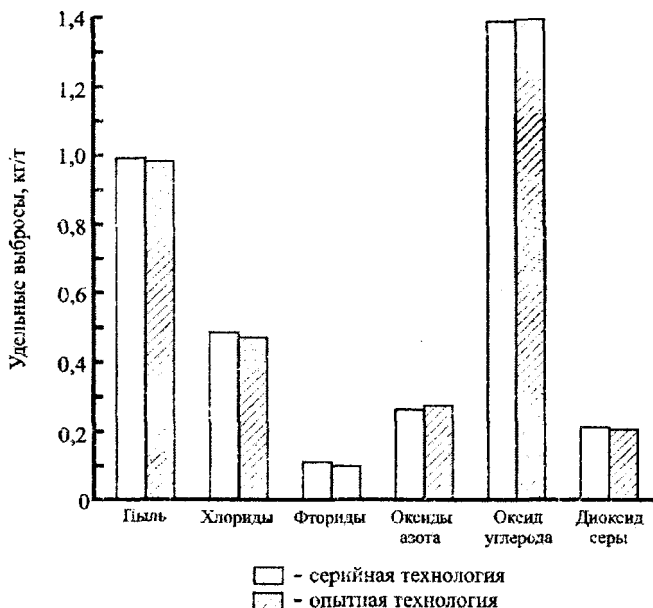


Рисунок 2 – Удельные выбросы загрязняющих веществ (кг/т) в период плавки алюминиевой стружки в короткопламенной роторной печи

Известно [3], что 1 кг масла, содержащегося в шихте, в результате соединения с кислородом при плавке в пламенных печах может вызвать увеличение объема отходящих газов до 50 м^3 , что приводит к интенсивному уносу пыли из рабочего пространства печи и ее выбросам вследствие неудовлетворительного уплотнения рабочего пространства.

Полученные результаты подтвердили целесообразность использования предложенного варианта технологии переплава стружечных отходов алюминиевых сплавов в роторной печи, однако, для

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].