



It is shown that processes of unprepared recycled material melting and of refining processing make ecological danger. That is why one of the variants of ecological safety of refining processes is development and application of more low-toxic preparation and refining alloys.

Б. М. НЕМЕНЕНОК, Г. А. РУМЯНЦЕВА, Л. В. ТРИБУШЕВСКИЙ, С. П. ЗАДРУЦКИЙ, БНТУ

УДК 621.745.56

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ В КОРОТКОПЛАМЕННОЙ РОТОРНОЙ ПЕЧИ НА СОСТАВ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Применение роторных печей дает наибольшую гибкость при плавлении кускового алюминиевого лома различных сортов, стружки и шлаков с содержанием металла менее 20% [1, 2]. При работе роторной печи загруженное сырье благодаря вращению барабана перемещается таким образом, что создается каскад. Шихта под воздействием центробежной силы и возникающего при этом трения поднимается на определенную высоту и затем падает вниз. В результате на поверхность попадает новый слой загруженного материала, который контактирует с печными газами и футеровкой печи. Таким образом, происходит более быстрый и равномерный нагрев шихты [3–5].

Для достижения удовлетворительной степени извлечения алюминия необходимо применение большого количества флюсов (до 400 кг на 1 т алюминия), что приводит к образованию больших объемов отходящих газов, для очистки которых требуется дорогостоящая и сложная аппаратура. Кроме того, возникает проблема переработки солевых шлаков, накапливающихся в больших количествах [2]. При такой технологии плавки флюсы необходимы не только для защиты металла от окисления, но и выполнения ряда других задач.

В качестве флюса применяется смесь солей NaCl и KCl, которая отличается термической стабильностью и высокой химической стойкостью по отношению к алюминию, обеспечивает максимально возможную разницу в плотностях по сравнению с алюминием, не оказывает отрицательного влияния на футеровку печи, создает оптимальное натяжение в пограничном слое по отношению к алюминию и оксидам, а также обладает хорошей способностью поглощать примеси и оксиды алюминия [1, 6]. Высокое поверхностное натяжение между оксидной пленкой и алюминием и низкое

значение данного показателя между флюсом и алюминием приводят к отделению оксидной пленки и коагуляции металлических частиц. Этот эффект усиливается благодаря вращению барабана печи [3, 5].

При переработке на марочные сплавы алюминиевого лома и стружки важным показателем является также металлургический выход, который зависит от технологии плавки, количества и состава используемых флюсов.

В качестве объекта исследования была выбрана короткопламенная роторная печь емкостью 800 кг, работающая на жидком топливе. Загрузка короткопламенной роторной печи осуществлялась с помощью поворотной тележки грузоподъемностью до 100 кг через загрузочное окно, которое затем закрывалось подводимым на консолях горелочным щитом с блочной жидкотопливной горелкой типа БГ-Ж-0,34. Во время расплавления металлоотходов печь располагалась горизонтально и была соединена с горелочным щитом через загрузочное окно, а дымовое окно примыкало к борову, переходящему в канал удаления дымовых газов. 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 зонтик, 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 % покровного флюса, который загружали вместе с первой порцией шихты, составляющей 150 кг.

Пробы пыли в отходящих газах отбирали в газоходе 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». 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 от 28 до 2520 и от 13 до 35 ppm. Концентрация NO колебалась в пределах 0–33 ppm.

Максимальные выбросы пыли 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 г/м³, то при очистке печи от шлака в конце плавки запыленность в виде пиковых выбросов достигала 0,95 г/м³ и продолжалась в течение 3–5 мин. Для более детального анализа использовали пыль, которая осаждалась в циклоне. На рис. 1 приведены фотографии частиц пыли, полученные на сканирующем электронном микроскопе VEGA-II LMU.

Из рисунка видно, что частицы пыли существенно отличаются по размерам и степени почернения. Последнее свидетельствует об их разном химическом составе. В дальнейшем были изучены энергетические спектры рентгенофлуоресцентного излучения элементов, входящих в состав пыли для 10 частиц. На рис. 2 даны примеры энергетических спектров для частиц пыли, обозначенных на рис. 1 под номерами 1, 6, 10. Полный химический состав исследованных частиц и их размеры приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, химический состав частиц пыли достаточно разнообразен и представлен широкой гаммой элементов как входящих в состав

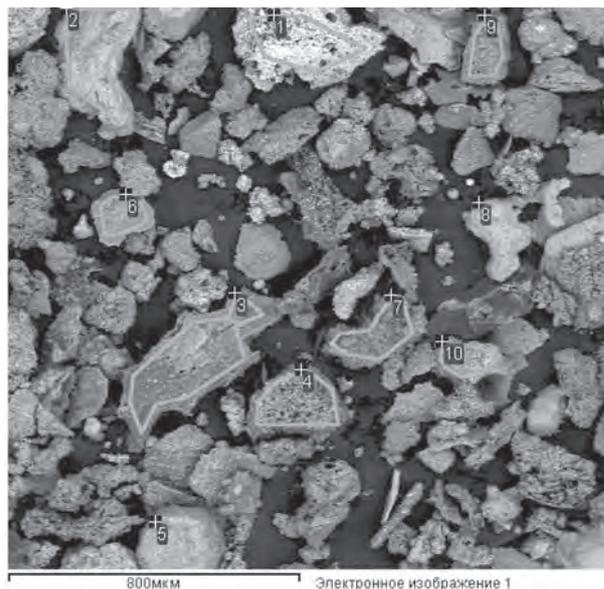


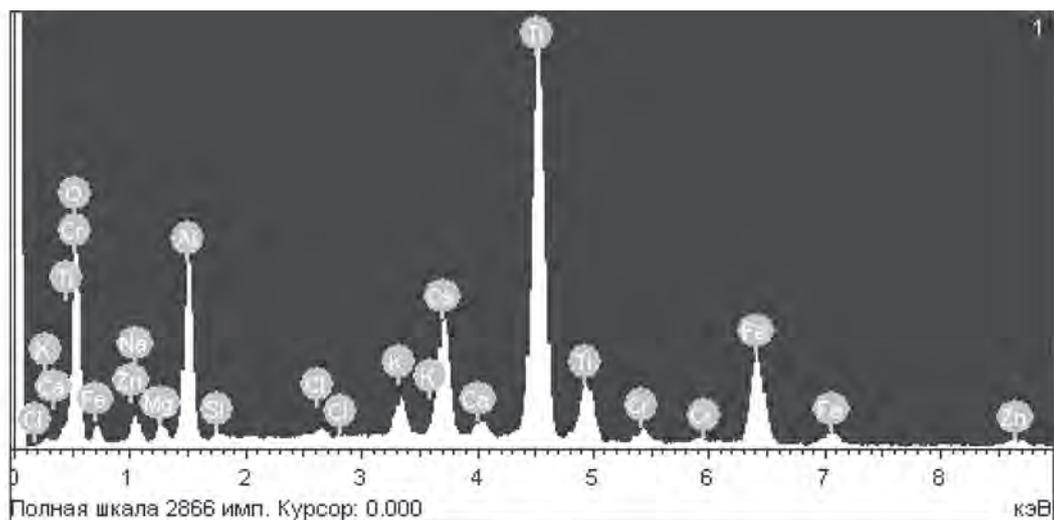
Рис. 1. Электронное изображение частиц пыли, отобранных из циклона при плавке в короткопламенной роторной печи

флюсов, так и содержащихся в переплавляемых отходах. При этом размерный диапазон частиц пыли достаточно широк и изменяется от 95 до 340 мкм, а также встречаются частицы со средним размером примерно 640 мкм.

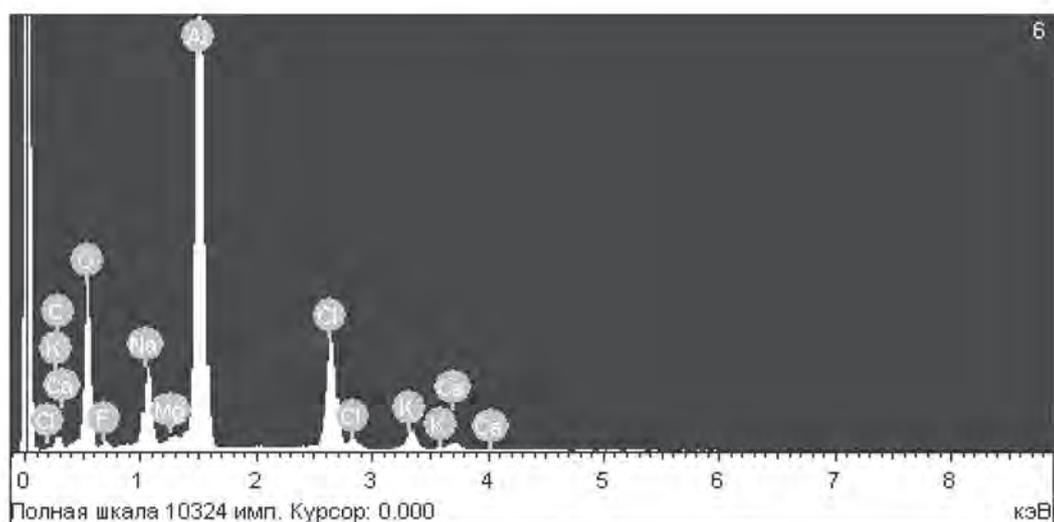
Когда плавку ведут с небольшими добавками покровно-рафинирующего флюса, неизбежно образование на поверхности металлического расплава шлаковой фазы, которая представляет собой смесь, содержащую оксиды, хлориды, нитриды основных компонентов сплава, загрязнения, вносимые шихтой, компоненты флюсов, частицы футеровки плавильного агрегата [7]. При механическом перемешивании слипшиеся оксидные блоки образуют окатыши, в которых концентрируются соль и продукты окисления – оксид и нитрид алюминия. В сыпучей составляющей шлака соли ока-

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

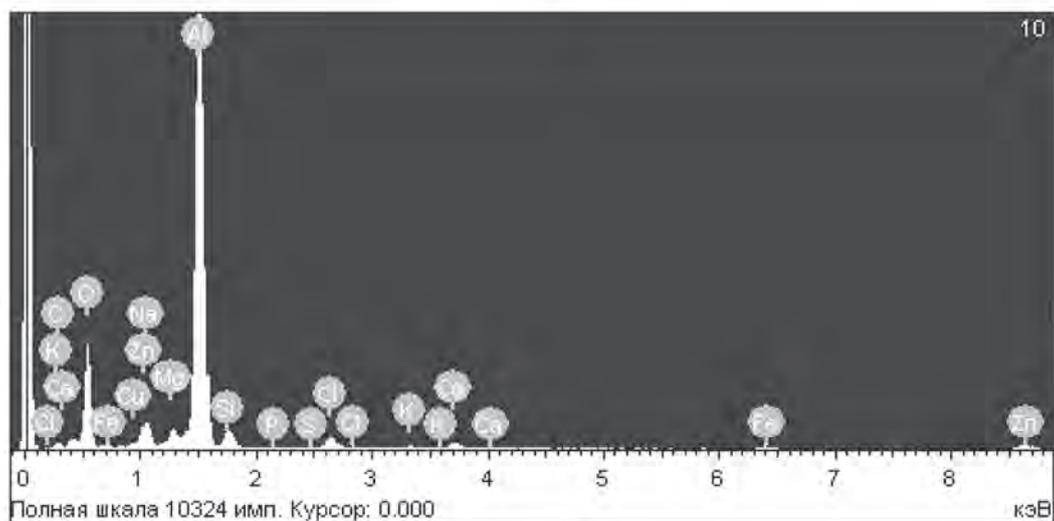
Номер частицы	Содержание элементов, мас. %													Средний размер частиц, мкм
	C	O	Al	Na	K	Ca	Cl	F	Si	Mg	Fe	Zn	прочие элементы	
1	–	37,64	7,05	1,21	1,52	5,49	0,28	–	0,25	0,81	12,40	2,07	29,81 Ti; 1,46 Cr	250
2	5,84	8,68	70,66	0,21	0,12	–	0,23	–	10,39	–	1,56	0,78	0,59 Mn; 0,93 Cu	260
3	27,47	37,10	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



a



б



в

Рис. 2. Энергетические спектры рентгенофлуоресцентного излучения элементов от частиц пыли № 1 (*a*), № 6 (*б*), № 10 (*в*)

залось меньше в 2 раза, а оксида и нитрида – в 3–5 раз, зато присутствовало много оксида кремния. Учитывая, что шлак является сухим и не смачивается расплавом, то благодаря мощному дымососу он уносится вместе с дымовыми газами и оседает в дымоотводящей системе и циклоне. Поэтому в составе пыли могут встречаться шпинели, корунд, нитриды алюминия, карбидные соединения и хлориды щелочных металлов [8].

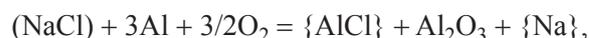
Учитывая высокую летучесть хлоридов, после их испарения в слое шлака могут происходить металлотермические реакции, сопровождающиеся резким повышением температуры в печи и приводящие к измельчению корольков алюминия и оксидов, что способствует их более интенсивному уносу [5].

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 оседают быстрее отдельных частиц печной пыли. В результате наибольшее содержание металлического алюминия имеет место в начале газохода и составляет 25–30 %. При загорании шлака в печи температура на поверхности шихты резко возрастает и содержание металлического алюминия в местах накопления пыли достигает 50 % и наблюдаются многочисленные языки желтого пламени от сгорания натрия.

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 покровно-рафинирующий 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 г/м³. Следует отметить также и повышенную концентрацию хлоридов в газоходе от боровов.

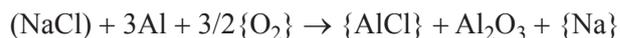
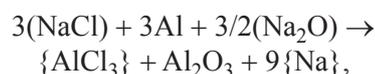
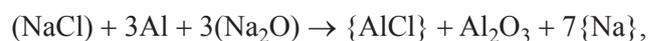
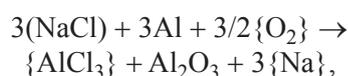
Для выяснения данного явления были проанализированы обменные реакции между жидким алюминием и компонентами солевой фазы (NaCl, KCl) в присутствии компонентов газовой фазы. С

большой вероятностью можно считать, что имеет место реакция, протекающая с образованием монохлорида алюминия:



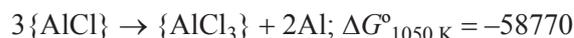
что подтверждает расчет значений изменений энергии Гиббса, $\Delta G^\circ_{1050\text{K}} = -1166240$ Дж/(Cl, F, O).

Металлический натрий в парообразном состоянии диффундирует к поверхности солевого расплава, окисляется, образуя практически нелетучий оксид натрия Na₂O (при 1050 K), но неограниченно растворимый в хлоридах натрия и калия. Образование субсоединений и натрия может протекать также по реакциям:



с $\Delta G^\circ_{1050\text{K}}$ соответственно –329940; –365570; –3050; –1166240.

По мнению С. Б. Новичкова [5], образующийся натрий играет роль переносчика кислорода к границе раздела «жидкий алюминий – солевой расплав» и обеспечивает окисление алюминия до Al₂O₃. Выделяющийся при этом летучий субхлорид алюминия покидает реакционную зону и вместе с образованием Al₂O₃ вызывает безвозвратные потери металла. Субхлорид алюминия AlCl – малоустойчивое соединение, которое распадается по реакции:



с образованием высокодисперсного алюминия, уносимого отходящими газами.

Чтобы оценить количество различных компонентов шихтовых материалов, теряемых в виде мелкой пыли, анализировали пробы пыли, уловленной газоочистными сооружениями. Результаты микрорентгеноспектрального анализа приведены в табл. 2.

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

Такое положение можно объяснить следующими причинами: во-первых, используется более качественная шихта, во-вторых, нет прямого контакта металла с газовой фазой и факелом пламени, что исключает интенсивное окисление компонентов сплава, разрушение хрупких оксидных плен

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

Номер пробы	Содержание элементов, мас. %								
	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	2,88	0,34	11,97
3	14,26	8,76	33,06	17,69	9,84	0,53	2,78	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

и унос их отходящими газами. Основную массу пыли (более 70 %) составляют 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 [9].

Проведенный анализ объемов и составов пылегазовых выбросов, образующихся при плавке и рафинировании алюминиевых сплавов в различ-

ных плавильных агрегатах, показал [10–12], что основную экологическую опасность представляют процессы плавки неподготовленного возврата и рафинирующей обработки. При использовании короткопламенных роторных печей для рециклинга отходов алюминиевых сплавов ситуация существенно осложняется за счет использования покровных и рафинирующих флюсов, обладающих повышенной летучестью, и накопления солевых шлаков, требующих утилизации или сложной переработки. Поэтому одним из вариантов повышения экологической безопасности процессов рафинирования является разработка и применение более низкотоксичных препаратов и рафинирующих составов.

Литература

1. Ш м и т ц К. Технологии плавления материалов с большой удельной поверхностью // Цветные металлы. 2006. № 9. С. 109–113.
2. Хоменко Л. Е., Комиссарук З. М. Некоторые вопросы переработки лома и отходов, содержащих алюминий // Экспресс-информация: Вторичная металлургия цветных металлов. 1985. Вып. 8.
3. Новичков С. Б. Использование компьютерного моделирования при разработке технологических процессов во вторичной металлургии. Иркутск, 2006.
4. Шуранков С. Е. Разработка технологии переplava высокоокисленных отходов алюминиевых сплавов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мн., 2001.
5. Новичков С. Б. Теория и практика переработки отходов алюминия в роторных наклонных печах: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Иркутск, 2007.
6. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов / А. В. Курдюмов и др. М.: Металлургия, 1980.
7. Переработка шлаков алюминиевых сплавов методом центробежной фильтрации / А. Ю. Шустров и др. // Цветные металлы. 2004. № 1. С. 70–73.
8. Жолнин А. Г., Новичков С. Б. Структура и свойства алюминийсодержащих шлаков // Цветные металлы. 2006. № 5. С. 71–78.
9. Переработка упорного вторичного алюминиевого и медного сырья во вращающихся печах / В. И. Гель и др. // Цветные металлы. 2006. № 3. С. 56–59.
10. Исследование пылегазовых выбросов, образующихся при плавке и рафинировании алюминиевых сплавов в отражательных печах / С. П. Задрущий и др. // Литье и металлургия. 2009. № 1. С. 78–85.
11. О вредных выбросах при плавке и рафинировании сплава АК9 в индукционных тигельных печах ИАТ-2,5 и ИАТ-6 / Б. М. Немененок и др. // Металлургия машиностроения. 2009. № 4. С. 43–46.
12. Пылегазообразование при плавке и рафинировании силуминов в печи САН-2,5 / Г. А. Румянцев и др. // Литейное производство. 2009. № 11. С. 28–31.