



The given investigations established positive influence of flux composition, mixing and preparation during processing of dispersion and oxidized wastes of aluminum alloys in short-flame rotary furnace. Substitution of cryolite in chlorine-containing flux with fluorspar is proved advisable.

Б. М. НЕМЕНЕНОК, В. Л. ТРИБУШЕВСКИЙ,
С. Л. РИМОШЕВСКИЙ, О. Н. КАЛЕНИК, БГПА

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ И ОКИСЛЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТХОДОВ

УДК 669.71.054

На территории Республики Беларусь ежегодно образуется достаточно разнообразное количество алюминиевых отходов в виде амортизационного лома, стружки, съемов, шлаков, выгребов и т.д. Часть из них с успехом перерабатывается классическими технологиями плавки в стационарных печах. Переработка же значительной доли отходов из-за высокой степени дисперсности (шлаки, съемы) и окисленности поверхности до последнего времени была затруднена ввиду высоких потерь металлического алюминия и увеличения затрат на переработку. В связи с этим сотрудниками кафедры "Металлургия литейных сплавов" и лаборатории "Ресурсосберегающих технологий" был разработан и внедрен в НПФ "Металлон" (г. Осиповичи) процесс динамической переработки высокодисперсных и окисленных алюминиевых отходов в короткопламенной печи с горизонтальной осью вращения.

В результате использования двухстадийного динамического режима переработки высокоокисленных систем стало возможно активное разрушение оксидных пленок и полное отделение металлического алюминия от шлака. Однако если при переплаве кусковых отходов и плотного лома флюсы могут не использоваться, то при переработке указанных выше отходов они просто незаменимы. Флюсы должны не только защищать и рафинировать жидкий алюминий, но и способствовать коагуляции разрозненных микрообъемов жидкого алюминия в процессе интенсивного перемешивания расплава [1]. Поэтому немаловажную роль в процессе динамической переработки отходов играют флюсы.

Термодинамические и физико-химические свойства флюсов и сочетание их компонентов определяют многие процессы флюсового рафинирования. Наиболее известными флюсами, используемыми как при переплавке чушкового алюминия, так и при переработке лома и отходов, являются флюсы, состоящие из хлоридов натрия и калия (табл.1).

Таблица 1. Состав и температура плавления флюсов

Состав флюсов	Температура плавления, °С
50% NaCl + 50% KCl	650
45% NaCl + 45% KCl + 10% Na ₃ AlF ₆	630
34% NaCl + 43% KCl + 23% Na ₃ AlF ₆	743
49,5% NaCl + 49,5% KCl + 1% CaF ₂	630
49,4% NaCl + 49,4% KCl + 1,25% CaF ₂	641

Как показывает производственный опыт и исследования различных авторов, добавки фторидов к флюсам на хлоридной основе значительно улучшают очистку жидкого алюминия и его сплавов от взвешенных оксидных плен и растворенного водорода, повышают металлургический выход.

При переплавке чушки, кусковых отходов и плотного лома лимитирующей стадией флюсового рафинирования является скорость разрушения оксидной пленки. Механизм действия таких флюсов при классических стационарных методах плавления основывается в большей степени на поверхностных явлениях на границах жидкий металл—флюс, флюс—оксид, оксид—жидкий металл. Под действием поверхностного натяжения на границе раздела жидкого флюса и расплавленного металла, заключенного в оксидную оболочку, сила сцепления оксида с флюсом стремится разорвать ее, а силы сцепления микрообъема жидкого алюминия с оксидом стремятся удержать оболочку. Разрушению оксидной оболочки способствует расклинивающее действие капиллярного давления флюса, проникающего между металлом и оксидной пленкой через ее поры, а также образующиеся при реакции жидкого алюминия с солями флюса газообразные субгалогениды, пары металлов Na и K, а также фториды алюминия. Освобожденные от оксидной пленки капли расплавленного алюминия окружены жидким флюсом и для их коагуляции необходимо, чтобы силы сцепления микрообъемов жидкого алюминия между собой были больше, чем силы сцепления с молекулами

флюса. Для этого необходимо, чтобы флюс хорошо смачивал оксиды и в ограниченной степени жидкий металл. Эти условия выражаются неравенствами:

$$\sigma_{\text{AO}} > \sigma_{\text{ФА}} > \sigma_{\text{ФО}}, \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{AO}} > \sigma_{\text{ФА}} > \sigma_{\text{ФО}}, \quad (2)$$

где σ_{AO} , $\sigma_{\text{ФА}}$, $\sigma_{\text{ФО}}$ — межфазное натяжение соответственно на границе фаз жидкий алюминий—оксид алюминия, жидкий флюс—жидкий алюминий, жидкий флюс—оксид алюминия [2—4].

Результаты исследований, полученные М. Боттоном, показывают, что присутствие фторидов в флюсе на основе хлоридов натрия и калия (табл. 1) оказывает положительное влияние не только на скорость коагуляции (примерно в 10 раз выше по сравнению с исходным), но и напрямую уменьшает величину дисперсии (потерь) металлического алюминия в образующемся шлаке, а также снижает его гигроскопичность в несколько раз [2, 5]. При стационарном режиме плавления металлических материалов с невысокой удельной поверхностью разрушения оксидных пленок объединение капель жидкого металла может происходить самопроизвольно без воздействия внешних сил. Использование фторсодержащих флюсов на хлоридной основе более положительно сказывается только на их рафинирующем воздействии.

Установлено, что в высокодисперсных и окисленных отходах (шлаки, съемы) содержится достаточно большое количество оксидов алюминия с высокой температурой плавления, количество которых увеличивается в процессе переработки (табл. 2). Это в свою очередь существенно определяет жидкоподвижность шлаковой системы, в которой находится большое количество обособленных и разрозненных микрообъемов жидкого алюминия. При относительно высокой вязкости системы и интенсивном перемешивании невоз-

можно достичь полного металлургического извлечения алюминия несмотря на наличие "отработанных" флюсов. Поэтому с целью увеличения жидкоподвижности системы необходимо внесение дополнительного количества "свежих" флюсов.

Большое влияние на извлечение металла оказывает также степень подготовки и переработки флюса. Наличие в нем связанного кислорода и влаги увеличивает окисление металла и уменьшает его выход, а неоднородность флюсовой смеси в значительной степени снижает его активность вследствие более высоких температур плавления входящих туда компонентов. Использование флюса в процессе переработки должно также носить объемный характер, поэтому с целью увеличения скорости расплавления и площади контакта в шлаковой системе его следует измельчать. Опытные плавки с использованием флюса № 2 (табл. 2), содержащего 10% криолита, показали, что он обладает хорошими рафинирующими свойствами и его оптимальное соотношение должно составлять 8—12% от массы завалки. Измельчение компонентов флюса до фракции 1—3 мм обеспечило увеличение металлургического выхода алюминия в пределах нескольких процентов в зависимости от качества исходной шихты. Однако высокая стоимость криолита (около 1000 долл. США за 1 т) делает его дальнейшее использование нецелесообразным, так как приводит к значительному удорожанию процесса переработки. В качестве альтернативы взамен криолита был предложен плавиковый шпат CaF_2 (см. табл. 1), флюс, который в то же время является основным компонентом при производстве криолита [6]. Данная композиция хорошо зарекомендовала себя в процессе переработки дисперсных и окисленных отходов во вращающейся печи, а также используется в аналогичных процессах переработки шлаков в Германии [7].

Таблица 2. Состав перерабатываемых солевых шлаков

Вид компонента	Содержание компонента в шлаке, %	Название компонента
Al	6—12	Алюминий металлический
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	40—43	α -Корунд
$\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$		Байерит
$\text{NaAl}_{11} \cdot \text{O}_{17}$	0,9—1,7	Натриево-алюминиевый оксид
$x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2$		Алюмосиликат
AlN		нитрид алюминия
$\alpha\text{-SiO}_2$	1,8—2,5	α -Кварц
SiO_2		Кристаллит
Fe_2O_3	0,3—2,3	Оксид железа
ZnO	0,4—1,2	Оксид цинка
MgO	следы	Оксид магния
NaCl	40—50	Кристаллы хлоридного флюса
KCl		

В процессе эксплуатации при переработке дисперсных и окисленных отходов во вращающейся печи возникли некоторые трудности в ее обслуживании. Они были связаны с образованием равномерного по толщине нароста по всей рабочей части печи. Это значительно усложняет ведение процесса металлургической переработки, снижая полезный объем печи по массе загрузки на 20%, что негативно сказывается на производительности печи. Предварительный структурный анализ показал, что наросты состоят в основном из оксидов: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\alpha\text{-SiO}_2$ — α -кварц, SiO_2 — кристобалит, ZnO , Fe_2O_3 , MgO . Вплоть до использования нового флюса на основе хлоридов с добавкой плавикового шпата (CaF_2) не удавалось решить эту проблему. Использовались различные способы уменьшения нароста. При критическом зарастании плавильного агрегата применяли механическое отделение наростов, что не очень хорошо сказывалось на состоянии его футеровки и занимало длительное время.

Используя при зарастании печи промывочную плавку предложенным флюсом, добились растворения образующихся наростов без каких-либо дополнительных активных механических воздействий. Это в свою очередь положительно сказалось на целостности футеровки печи и способствовало уменьшению потерь на время профилактических мероприятий, что сократило простой печи. Дальнейшее использование хлоридного флюса с добавкой CaF_2 практически полностью устранило проблему зарастания рабочего пространства печи.

Проведенными исследованиями установлено положительное влияние количества, состава и способа внесения флюса и его подготовки при динамической переработке дисперсных и окисленных отходов. Определены оптимальные концентрации

добавляемого флюса и показана положительная роль использования плавикового шпата взамен дорогостоящего криолита. Полученные результаты по способу очистки футеровки плавильной печи от зарастания могут быть использованы не только при переработке дисперсных и окисленных отходов, но и при переплаве кускового лома, что обеспечит увеличение производительности печи. Кроме того, установлена возможность использования вращающихся печей для производства флюсов. Это положительно сказывается на их рабочих свойствах и степени гомогенности взамен их механической смеси. Указанный флюс, полученный по нетрадиционной технологии, может быть рекомендован также к применению в качестве покровно-рафинирующего при выплавке чушкового алюминия, при переплаве алюминиевого лома, что может снизить потери металлического алюминия в образующихся шлаках.

Литература

1. Лекаш С. Н., Трибушевский В. Л., Шейнерт В. А., Шуранков С. Е. МИКС-МЕЛТ-процесс переработки окисленных алюминиевых отходов // *Металлургия и литейное производство*. Мн.: Беларуская навука, 1998. С. 97—100.
2. Курдюмов А. В., Инкин С. В. и др. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. М.: *Металлургия*, 1980.
3. Ларионов Г. В. Вторичный алюминий. М.: *Металлургия*, 1967.
4. Альтман М. Б. *Металлургия литейных алюминиевых сплавов*. М.: *Металлургия*, 1972.
5. Радин А. Я. О механизме действия флюса при плавке алюминия // *Вопросы технологии литейного производства*: Тр. ин-та МАТИ. М.: Оборонгиз, 1963. Вып. 56. С. 45—70.
6. Уткин Н. И. *Производство цветных металлов*. М.: *Интермет инжиниринг*, 2000.
7. Beckmann M. K. *Aufarbeitung von Aluminiumsalzschlacken in Nordrhein — Westfalen // Aluminium*. 1991. Bd. 67, N 6. S. 586—593.