

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ

Л.В. ТРИБУШЕВСКИЙ, Б.М. НЕМЕНЕНОК, д-р техн. наук,
Г.А. РУМЯНЦЕВА, канд. техн. наук
Белорусский национальный технический университет

Проведен анализ технологий переработки окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи с использованием флюсов и по бесфлюсовому варианту. Показано, что плавка с использованием флюсов обеспечивает повышение металлургического выхода металлического расплава, но возникают проблемы с захоронением образующихся бедных шлаков, которые относятся к 4 классу опасности.

В случае бесфлюсовой плавки окисленных отходов алюминия металлургический выход металлического расплава несколько ниже, но отпадает необходимость в захоронении образующихся шлаков, которые являются ценным сырьем при производстве реагентов для выпечной обработки стали. При этом появляется возможность реализации безотходных технологий переработки окисленных отходов алюминия, создаются более комфортные условия труда и отсутствует экологический налог на захоронение отходов. Такой вариант переработки имеет экономический, экологический и социальный эффект.

Ключевые слова: безотходная технология, окисленные отходы алюминия, переработка отходов, короткопламенная роторная печь, металлургический выход.

ON THE ISSUE OF CHOOSING A TECHNOLOGY FOR PROCESSING OXIDIZED ALUMINUM WASTE

L.V. TRIBUSHEVSKIY, B.M. NEMENENOK, Dr. of Engineering Sciences,
G.A. RUMIANTSEVA, Ph. D in Technical Science
Belarusian National Technical University

The analysis of technologies for processing oxidized aluminum wastes in a short-flame rotary furnace using fluxes and a non-flux version is carried out. It is shown that smelting with the use of fluxes provides an increase in the metallurgical yield of the metal melt, but problems arise with the disposal of the resulting poor slags, which belong to the 4th hazard class.

In the case of flux-free smelting of oxidized aluminum waste, the metallurgical yield of the metal melt is somewhat lower, but there is no need to dispose of the resulting slags, which are valuable raw materials in the production of reagents for out-of-furnace steel treatment. When the possibility of implementing non-waste technologies for processing oxidized aluminum wastes is manifested, more comfortable working conditions are created and there is no environmental tax on waste disposal. This processing option has clear economic, environmental and social benefits.

Keywords: *waste-free technology, oxidized aluminum waste, waste processing, short-flame rotary kiln, metallurgical output.*

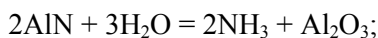
К окисленным отходам алюминия относят стружку алюминиевых сплавов, образующиеся при плавке и рафинировании шлаки, съемы, сливы, выгребы с подины плавильных печей. Содержание алюминия в таких отходах зависит от вида технологии плавки и колеблется от 5 до 80 %. Учитывая отсутствие собственной сырьевой базы для производства алюминиевых сплавов, такие отходы имеют важное значение при получении марочных сплавов из вторичного сырья. Для переработки окисленных отходов алюминия наиболее часто используют разные типы роторных печей, обеспечивающих более быстрый и равномерный нагрев шихты. Достижение удовлетворительной степени извлечения алюминия обеспечивается при использовании большого количества флюсов (до 300 кг на 1 т отходов алюминия), что приводит к образованию значительных объемов отходящих газов, очистка которых требует дорогостоящей и сложной аппаратуры. Кроме того, возникает проблема переработки солевых шлаков, накапливающихся в больших количествах [1–4]. При такой технологии плавки флюсы необходимы не только для защиты металла от окисления, но и для решения ряда других задач. Флюс, во-первых, покрывает загруженную в печь шихту и тем самым защищает ее от контакта с воздухом или атмосферой печи, уменьшая окисление металла. Во-вторых, каждая частичка металла покрыта тонкой оксидной пленкой благодаря высокому сродству алюминия с кислородом, и задача флюса состоит в том, чтобы после расплавления металла эту оксидную пленку разрушить. В-третьих, возникшие при плавлении капли жидкого металла должны коагулировать и слиться с расплавленной ванной, поэтому назначение флюса –

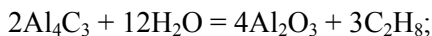
стимулировать этот процесс, который при вращении корпуса печи ускоряется. В-четвертых, флюс должен растворять или отделять прилипшие к металлу примеси. При переработке на марочные сплавы важным показателем также является металлургический выход, который зависит от технологии плавки, количества и состава используемых флюсов [1].

С экономической и экологической точек зрения нежелательно иметь излишек соли, образующей шлак. Это увеличивает производственные затраты, как и утилизация солевого шлака, удаленного из печи в конце плавки. Солевые шлаки, не подлежащие переработке, относятся к отходам 4 класса опасности и захораниваются на специальных полигонах с уплатой соответствующего экологического налога. За последние 10 лет размер экологического налога увеличился в 5,3 раза и в 2019 году составил 64,91 руб/т.

Следует также учитывать, что при плавке в пламенных печах слой флюса затрудняет передачу тепла от факела сжигаемого топлива к расплаву. В результате взаимодействия флюса с расплавом образуется шлак, который является хорошим теплоизолятором. Так, при толщине слоя шлака 100 мм на плавление алюминия затрачивается на 30 % больше энергии, чем при слое шлака в 25 мм [5]. Поэтому с экономической и экологической точек зрения нерационально иметь излишек флюса.

Химическое взаимодействие компонентов флюсов с футеровкой печи сокращает срок ее эксплуатации, а взаимодействие их с горячими газами приводит к образованию высокотоксичных диоксинов, улавливание и нейтрализация которых требует использования дорогостоящих очистных сооружений. При плавке окисленных отходов алюминия в пламенных печах с продолжительным контактом горячих газов с алюминием в шлаках обнаруживается значительное количество нитрида и карбида алюминия, что подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа. Хранение таких шлаков на открытых площадках приводит к образованию аммиака, ацетилена или пропана в результате взаимодействия нитридов и карбидов алюминия с влагой по реакциям [2, 5]:





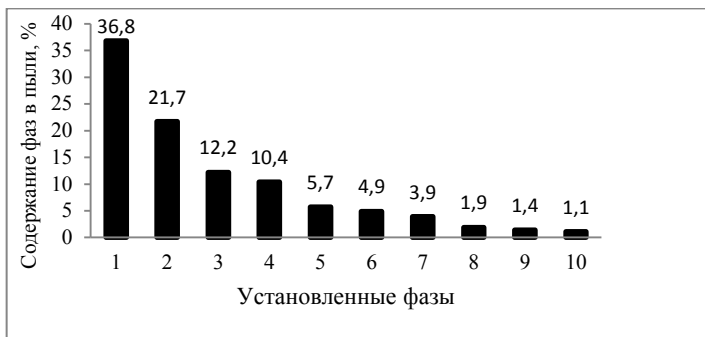
Протекание этих реакций сопровождается выделением большого количества тепла, нагревом шлака, дополнительным окислением алюминия и ухудшением экологической ситуации в местах складирования алюминиевых шлаков.

Учитывая многочисленные негативные последствия использования флюсов при плавке окисленных отходов алюминия, были проведены опытные бесфлюсовые плавки таких отходов в короткопламенной роторной печи.

Металлозавалка каждой плавки состояла из 250 кг роллет, 200 кг пробки, 70 кг просева шлака с фракцией более 10 мм и 60–70 кг мелкого алюминиевого лома из алюминиевых радиаторов и конденсаторов. Общая масса шихты составляла 580–590 кг. Перед проведением балансовых плавок циклон полностью очищался от пыли, а после окончания серии балансовых плавок вся собравшаяся в циклоне пыль извлекалась и взвешивалась. Общая масса пыли по итогам 16 плавок составила 496 кг или в среднем 31 кг на плавку. Большие объемы образующейся пыли (примерно 31 кг на плавку или более 5 % от металлозавалки) связаны с особенностями конструкции короткопламенной роторной печи, характеризующейся прямоточным движением горячих газов с высокой скоростью в рабочем пространстве печи. Это и обуславливает существенные потери шихты с развитой поверхностью во время плавки. Одновременно малое время контакта горячих газов с расплавом и шихтой снижает вероятность химического взаимодействия алюминия с компонентами газовой фазы и образования нитрида и карбида алюминия. Результаты фазового анализа пыли из циклона, выполненные на рентгеноструктурном анализаторе ДРОН-3 (рисунок 1), подтвердили это предположение.

При таком варианте плавки в составе пыли практически отсутствуют хлорсодержащие соединения и преобладают оксиды алюминия различных форм с общей концентрацией около 75 % ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Al}_{2,144}\text{O}_{3,2} + \text{Al}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$), шпинели, содержащие в своем составе оксиды алюминия (~ 12 %) и 12 % чистого алюминия. Образование

субоксида алюминия (Al_2O) характерно для плавки алюминия без покровного флюса в пламенных печах [6].



1 – Al_2O_3 ; 2 – Al_2O ; 3 – Al; 4 – Al_2O_3 ; 5 – $\text{Al}_{2,144}\text{O}_{3,2}$; 6 – $\text{Mg}_{0,388}\text{Al}_{2,408}\text{O}_4$; 7 – $\text{Al}_5\text{SiO}_{9,5}$;
8 – KAlSi_3O_8 ; 9 – $\text{Na}_{0,3833}\text{K}_{0,6165}\text{Cl}$; 10 – CaAl_4O_7

Рисунок 1 – Результаты фазового анализа пыли из циклона при бесфлюсовой плавке окисленных отходов алюминия

Результаты балансовых плавок приведены в таблице 1.

По ходу плавки окисленных отходов алюминия в пламенной печи протекает ряд процессов, оказывающих противоположное действие на изменение массы переплавляемых материалов. При сгорании краски на поверхности роллет и пробок образуются продукты, которые удаляются с газами и не учитываются в балансе плавки. Параллельно происходит окисление алюминия продуктами сгорания топлива и кислородом воздуха, что сопровождается приростом массы, так как при окислении 1 кг алюминия образуется 1,89 кг оксида алюминия, который остается в шлаке или улавливается в виде пыли. Поэтому для некоторых плавок масса полученных продуктов превышает массу исходных материалов, хотя средние значения загруженных и полученных материалов по 16 плавкам практически совпадают. Причину превышения массы конечных продуктов по отдельным плавкам над массой исходной шихты можно, очевидно, объяснить также частичным зависанием шлака в виде настывлей на футеровке печи по ходу плавки с дальнейшим смыванием его в процессе последующих плавок. Это в итоге и обеспечило изменение

металлургического выхода в диапазоне 54,6–65,6 %. Анализ химического состава образующегося шлака показал, что остаточное содержание корольков алюминия в нем составляет 9–11 %, а основным компонентом является Al_2O_3 , доля которого колеблется в пределах 69–74 %. В меньшей степени представлены оксиды магния, кремния, железа, щелочных металлов. Таким образом, образующиеся при бесфлюсовой плавке вторичный алюминиевый шлак и пыль являются подходящими компонентами для получения реагентов для внепечной обработки стали, которые могут быть реализованы на металлургические предприятия.

Таблица 1 – Результаты балансовых бесфлюсовых плавок окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи

Номер плавки	Масса компонентов шихты, кг				Масса шихты, кг	Масса продуктов плавки, кг			
	роллета	пробка	просев шлака	лом		металл	шлак	пыль	всего
1	250	200	70	70	590	339	235	31	605
2	250	200	70	70	590	362	243	31	636
3	250	200	70	70	590	376	230	31	637
4	250	200	70	70	590	366	236	31	633
5	250	200	70	70	590	322	204	31	557
6	250	200	70	70	590	387	162	31	580
7	250	200	70	70	590	349	177	31	557
8	250	200	70	70	590	340	193	31	564
9	250	200	70	70	590	345	212	31	588
10	250	200	70	70	590	349	203	31	583
11	250	200	70	70	590	335	221	31	587
12	250	200	70	70	590	348	201	31	580
13	250	200	70	60	580	364	196	31	591
14	250	200	70	60	580	330	214	31	575
15	250	200	70	60	580	352	172	31	555
16	250	200	70	60	580	349	182	31	562
Средн.					587,5	350,8	205	31	586,87

Бесфлюсовая плавка окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи обеспечивает более низкий металлургический выход металлического расплава, но одновременно способствует получению шлака и пыли, которые не подлежат захоронению, а полностью используются при получении реагентов для раз-

жижения рафинировочных шлаков и корректировки их составов. Таким образом, такую технологию переплава окисленных отходов алюминия можно отнести к безотходной, при которой доля используемых продуктов плавки по отношению к исходной шихте превышает 95 % и отпадает необходимость в захоронении солевых шлаков, как отходов 4 класса опасности. Экономический эффект от реализации реагентов для внепечной обработки стали и снижения расходов на экологический налог превышает доходы от реализации дополнительного алюминия, полученного при флюсовой плавке его окисленных отходов. Следовательно, использование бесфлюсовой плавки окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи является более предпочтительной и обеспечивает экономический, экологический и социальный эффект.

Список литературы

1. **Шмитц, К.** Рециклинг алюминия. Справочное руководство / К. Шмитц, Й. Домагала, П. Хааг. – М.: «АлюсилМВиТ», 2008. – 528 с.
2. **Повышение** экологической безопасности процессов плавки и рафинирования алюминиевых сплавов / С.П. Задруцкий [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – 231 с.
3. **Волочко, А.Т.** Переработка и использование алюминиевых отходов в производстве порошков, паст, композиционных и керамических материалов / А.Т. Волочко. – Минск: Беларуская навука, 2006. – 302 с.
4. **Макаров, Г.С.** Слитки из алюминиевых сплавов с магнием и кремнием для прессования / Г.С. Макаров. – М.: Интермет Инженеринг, 2011. – 528 с.
5. **Флюсовая** обработка – просто и доступно / Д.В. Пискарев [и др.] // Цветные металлы. – 2010. – № 12. – С. 64–68.
6. **Фомин, Б.А.** Металлургия вторичного алюминия / Б.А. Фомин, В.И. Москвитин, С.В. Махов. – М.: ЭКОМЕТ, 2004. – 240 с.

References

1. **Shmitc, K.** Recikling alyuminiya. Spravochnoe rukovodstvo [Aluminum recycling. Help guide] / K. Shmitc, J. Domagala, P. Haag. – Moscow: AlyusilMViT Publ., 2008. – 528 p.

2. **Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti processov plavki i rafinirovaniya alyuminievykh splavov** [Improving the environmental safety of the processes of melting and refining aluminum alloys] / S.P. Zadruckij [et al.]. – Minsk: BNTU Publ., 2012. – 231 p.

3. **Volochko, A.T.** *Pererabotka i ispol'zovanie alyuminievykh othodov v proizvodstve poroshkov, past, kompozicionnykh i keramicheskikh materialov* [Recycling and use of aluminum waste in the production of powders, pastes, composite and ceramic materials] / A.T. Volochko. – Minsk: Belaruskaya navuka Publ., 2006. – 302 p.

4. **Makarov, G.S.** *Slitki iz alyuminievykh splavov s magniem i kremniem dlya pressovaniya* [Aluminum alloy ingots with magnesium and silicon for pressing] / G.S. Makarov. – Moscow: Intermet Inzhenering Publ., 2011. – 528 p.

5. **Flyusovaya obrabotka – prosto i dostupno** [Flux treatment - simple and affordable] / D.V. Piskarev [et al.] // *Cvetnye metally = Non-ferrous metals*. – 2010. – No. 12. – P. 64–68.

6. **Fomin, B.A.** *Metallurgiya vtorichnogo alyuminiya* [Secondary aluminum metallurgy] / B.A. Fomin, V.I. Moskvitin, S.V. Mahov. – Moscow: EKOMET Publ., 2004. – 240 p.

Поступила 28.07.2020

Received 28.07.2020