

7,5–9,2 %, что делает его дальнейший переплав нерентабельным. Учитывая, что такой шлак относится к отходам IV класса опасности, он подлежит захоронению на специальных полигонах с уплатой соответствующего экологического налога.

Дальнейшие исследования, с использованием покровного и жидкого флюсов, привели к получению результатов, близких к первой серии опытных плавки. Поэтому было принято решение об исключении флюса из состава шихты при плавке окисленных отходов алюминия. Предполагалось, что разрушение оксидной пленки на частицах алюминиевых сплавов в процессе плавки будет происходить механическим путем при вращении печи.

В качестве компонентов шихты использовали алюминиевую стружку с засоренностью 6 и 25 %; алюминиевые шлаки с содержанием 50–68 % алюминия и просев алюминиевого шлака с фракцией более 10 мм.

Для оценки распределения материалов по ходу плавки в КППП проводили 16 балансовых плавки с взвешиванием всех компонентов шихты и полученных продуктов в виде расплава, вторичного шлака и пыли, осевшей в циклоне. Металлозавалка каждой плавки состояла из 250 кг роллет, 200 кг пробки, 60–70 кг мелкого алюминиевого лома из алюминиевых радиаторов и конденсаторов, и 70 кг просева шлака, содержащего 22–25 % Al; 33–37 %  $Al_2O_3$ ; 6–8 %  $SiO_2$ ; 4–6 %  $MgO$ ; 1–3 %  $Fe_2O_3$ ; 25–30 % (NaCl+KCl). Общая масса шихты составляла 580–590 кг. Перед проведением балансовых плавки циклон полностью очищался от пыли, а после окончания серии балансовых плавки вся собравшаяся в циклоне пыль извлекалась и взвешивалась. Общая масса пыли по итогам 16 плавки составляла 496 кг или в среднем 31 кг на плавку. При таком варианте плавки в составе пыли преобладают оксиды алюминия различных форм с общей концентрацией около 75 %, шпинели, содержащие в своем составе оксиды алюминия (12 %), и 12 % чистого алюминия. Следует отметить, что на долю хлорсодержащих соединений приходится только 1,4 %, что в 2,5 и 30 раз ниже по содержанию хлоридов, по сравнению с плавкой с 8% покровного флюса и 40% жидкого флюса соответственно. Большие объемы образующейся пыли связаны с особенностями конструкции КППП, характеризующейся прямоточным движением горячих газов с высокой скоростью в рабочем пространстве печи. Это и обуславливает существенные потери шихты с развитой поверхностью во время плавки. Metallургический выход в среднем составил около 60 % при доле образующихся отходов – 40 %.

Анализ образовавшегося шлака и пыли показал незначительное содержание в них хлористых соединений, что позволяет их полностью использовать в составе алюминиевых раскислительных смесей (АРС) при внепечной обработке стали. Это позволило предложить безотходную бесфлюсовую технологию переработки окисленных отходов алюминия, при которой доля используемых продуктов превышает 95 %.

УДК 669.187.28

### **Глубокая переработка алюминиевых шлаков – путь к получению новых материалов для литейно-металлургического производства**

Студенты гр. 10405114: Кулик М. А., Позняк О.А.  
Научные руководители – Трибушевский Л.В., Неменёнок Б.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Существующие технологии переплава алюминиевой стружки и шлаков, как правило, предусматривают использование значительного количества покровных и рафинирующих флюсов при плавке, что приводит к повышению металлургического выхода металлического расплава и образованию вторичных шлаков, требующих дальнейшей переработки или захоронения.

Для исследования были выбраны отходы переработки вторичного алюминия (ОПВА), складированные на открытой площадке НПФ «Металлон». С целью отделения корольков

алюминия ОПВА подвергали просеиванию через сито с квадратными отверстиями со стороной 5,6 мм и диагональю отверстия около 8 мм. Из полученного отсева с разных горизонтов отбирали пробы для развернутого химического анализа, который проводили в испытательном центре ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Беларуси. Результаты отсева отвалного шлака и данные химического анализа отобранных проб приведены на рисунке 1 и в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты химического анализа проб отсева ОПВА с фракцией менее 8 мм

Содержание компонентов, %	Номер пробы						Среднее значение, %
	1	2	3	4	5	6	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	81,6	78,3	81,05	80,15	81,1	80,2	80,4
CaO	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	0,8
MgO	1,9	1,6	1,3	2,2	1,5	2,8	1,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,3	5,4	6,1	5,6	6,1	6,0	5,8
SiO <sub>2</sub>	4,4	4,6	4,6	4,0	3,4	3,6	4,1
CuO	1,7	3,0	2,5	2,7	2,3	2,7	2,5
ZnO	1,0	1,6	1,6	1,8	1,2	1,1	1,4
Na <sub>2</sub> O	1,0	1,0	0,2	0,7	1,4	0,6	0,8
Cl	0,6	1,5	0,2	0,2	0,5	0,8	0,6
K <sub>2</sub> O	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3
TiO <sub>2</sub>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3
MnO	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
NiO	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
PbO	0,1	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3
Другие	0,5	0,5	0,05	0,05	0,5	0,5	0,4



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Рассев отвалного шлака на производственной площадке НПФ «Металлон»:

а – ОПВА до отсева; б – крупная составляющая шлака после отсева;

в – просев ОПВА с фракцией 8 мм

Усредненные результаты анализа показали, что в отсеве содержится 80,4 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 19,6 % примесей, в число которых входят 4,1 %  $\text{SiO}_2$ ; 5,8 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 2,5 %  $\text{CuO}$ ; 1,9 %  $\text{MgO}$ ; 1,4 %  $\text{ZnO}$ ; по 0,8  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 0,6 % хлора; по 0,3 %  $\text{K}_2\text{O}$ ;  $\text{TiO}_2$ ;  $\text{NiO}$ ;  $\text{PbO}$ ; 0,2 %  $\text{MnO}$ . При этом 78–80 % отсева относится к фракции 0–3 мм. Для дальнейшего исследования этой фракции ее подвергали вихревой сепарации с использованием ленточного конвейера с многополюсным магнитным ротором. При вращении многополосной магнитной системы в металлических частицах индуцировались вихревые токи, которые, в свою очередь, создавали магнитное поле противоположное по направлению роторной магнитной системе.

В результате взаимодействия магнитных полей металлические частицы, содержащиеся в отсеве шлака, выбрасывались из движущегося потока и отделялись от неэлектропроводящей фракции.

Отсев алюминиевых шлаков с данным фракционным составом может быть использован для производства разжижителей рафинировочных шлаков при внепечной обработке сталей вместо экологически опасного плавикового шпата. Для удобства ввода разжижителей их можно получать в виде окатышей или брикетов с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 50 до 80 %. Для этих целей можно использовать валковый пресс, представленный на рисунке 2.



Рисунок 2 – Валковый пресс для получения брикетов разжижителя на основе ОПВА:  
а – валковый пресс; б – брикеты на основе ОПВА

Составы разжижителей шлака, полученные на основе ОПВА приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Составы разжижителей шлака на основе ОПВА

Материал	Массовая доля компонентов, %						Потеря массы при сушке, %
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SiO}_2$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	
АСМ 75	70–80	1–3	13–17	2–3	–	1–2	2–5
АСМ 65	60–70	6–11	3–8	2–3	–	1–2	10–12
АСМ 55	50–60	10–15	4–9	2–3	–	1–2	14–17
АСМС 65-5	60–70	5–9	3–8	2–3	4–6	2–3	7–10
АСМС 65-3	60–70	6–9	3–7	2–3	2–3	2–3	8–11
АСМС 55-5	50–60	8–13	4–9	2–3	2–3	1–2	12–15

Таким образом, глубокая переработка алюминиевых шлаков позволяет в полной мере реализовать безотходную технологию их переплава, с получением новых экологически безопасных продуктов, востребованных литейно-металлургическим производством.