

Куберский С. В.
к.т.н., профессор,
Кучернюк А. И.
аспирант,
Проценко М. Ю.
к.т.н., доцент

Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, ЛНР

ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ПУТЕЙ РЕЦИКЛИНГА ПЫЛИ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Процессы черной металлургии характеризуются формированием большого количества отходов. Одним из отходов, образующихся в процессе выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП), является пыль, относящаяся к четвертому классу опасности и представляющая собой мелкодисперсный порошок, имеющий большой разброс в размерах частиц, поскольку содержит как возгоны цветных металлов и их оксидов, так и крупные частицы, вынесенные потоком газа из печи. В состав пыли могут входить железо, цинк, кадмий, свинец, хлор, кобальт, марганец, никель, щелочные и щелочноземельные металлы.

В литературе отмечено, что пыль электросталеплавильного производства на 90 % состоит из оксидов, остальные 10 % представлены ферритами, сульфатами, сульфидами, хлоридами [1]. Цинк в пыли ЭДП представлен преимущественно в форме оксида (~50 %) и франклинита или феррита (~45 %) с изоморфно замещающими металлами $(Zn_x, Me_y)Fe_2O_4$, где Me — это Mn, Co, Ni, Cr, Ca, остальное — хлорид и сульфат [2].

В среднем на 1 т стали, выплаваемой в ДСП переменного тока, образуется около 25–30 кг пыли, и накопившиеся к настоящему времени мировые ее запасы составляют порядка 5,6 млрд т. В Российской Федерации ежегодно образуется около 1 млн т пыли, которая при складировании не только наносит вред окружающей среде, но и приводит к ежегодным потерям около 800 тыс. т железа, 500 тыс. т цинка и 150 тыс. т свинца [3].

Рециклинг пыли ЭДП будет способствовать не только улучшению экологической обстановки, но и существенному ресурсосбережению и может частично покрывать потребности предприятий черной и цветной металлургии в традиционном технологическом сырье.

Поэтому утилизация и переработка этого техногенного сырья является достаточно актуальной научно-технической задачей.

Так как основными компонентами пыли ДСП являются оксиды различных элементов, практически все способы ее утилизации предполагают реализацию процессов восстановления с целью извлечения ценных элементов и их дальнейшего использования в металлургических технологиях.

В настоящее время для переработки данного вида сырья используют гидро- и пирометаллургические методы, имеющие как преимущества, так и определенные недостатки [4], что сдерживает их повсеместное использование и заставляет вести поиск новых наиболее эффективных технологий.

Цель данной работы предусматривала разработку новых подходов к переработке электросталеплавильной пыли для создания комплексной гидро-пирометаллургической технологии ее эффективного рециклинга с получением передельного чугуна, оксида цинка, катодного и чушкового цинка.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие основные задачи:

– уменьшение негативного воздействия электросталеплавильной пыли на окружающую среду путем ее переработки и утилизации;

– использование ценных для металлургии компонентов электросталеплавильной пыли в составе шихты при выплавке стали с целью сокращения финансовых затрат, увеличения производительности ДСП, экономии металлического лома и сыпучих добавок;

- получение новых видов товарной продукции в виде оксида цинка, катодного и чушкового цинка;
- подготовка базы для освоения технологии по извлечению свинца, меди, вольфрама, кадмия, молибдена и других металлов из сталеплавильной пыли.

На первом этапе экспериментальных лабораторных исследований для реализации пирометаллургического процесса образующуюся при выплавке стали в ДСП пыль (табл. 1) смешивали с прокатной окалиной, сталеплавильным шлаком, углеродсодержащим материалом и известью.

Подготовленную смесь для лучшего усреднения выдерживали в течение 24 ч и подвергали нагреву в лабораторной печи до температуры 1200 °С с последующей выдержкой при этой температуре в течение 2 ч. В результате такого пирометаллургического процесса происходит разрыв феррита цинка и переход его в оксид. Оксид цинка претерпевает процесс возгона, его пары улавливаются, конденсируются и переходят в пыль, химический состав которой представлен в таблице 2.

Далее температуру в печи поднимали до 1450–1500 °С, при которой реализовывался процесс жидкофазного восстановления для получения жидкого передельного чугуна и шлака, химический состав которых представлен в таблицах 3 и 4 соответственно.

В результате реализованного процесса было получено 16 % цинксодержащей пыли, 56 % передельного чугуна и 15 % шлака. Потери с корольками составили 2 %, а с газами и неучтенные потери — 11 %.

На втором этапе исследований реализовывали гидromеталлургические процессы рециклинга компонентов сталеплавильной пыли.

В специально подобранном растворе растворяли цинксодержащую пыль (табл. 2), нагревали полученную смесь до температуры 70–80 °С и выдерживали при этой температуре 2–3 ч, постоянно перемешивая.

После выдержки раствор подвергали фильтрации с помощью водного вакуумного фильтра. Состав полученного осадка (кека) представлен в таблице 5.

Отфильтрованный раствор подвергали цементации с добавлением цинксодержащего порошка, выдерживали 3–4 ч при постоянном перемешивании и фильтровали с помощью водного вакуумного фильтра. В результате проведенных операций получали кек 2-й фильтрации (табл. 6).

Таблица 1 — Химический состав электросталеплавильной пыли

Компонент	Fe _{общ}	CaO	MgO	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	ZnO	Прочие
Содержание, %	26,11	10,07	1,26	4,25	3,57	1,28	27,63	25,83

Таблица 2 — Химический состав цинксодержащей пыли

Компонент	Fe _{общ} (феррит цинка)	Pb	W	Cu	Mn	Cd	ZnO
Содержание, %	5,76	14,68	9,06	0,40	0,11	0,29	69,70

Таблица 3 — Химический состав чугуна

Элемент	Fe	C	S	P	Mn	Si	Прочие
Содержание, %	92,90	4,20	0,02	0,20	0,50	0,60	1,58

Таблица 4 — Химический состав шлака

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	CaO	MgO	MnO	Оксиды Fe
Содержание, %	42,42	7,30	0,2	41,22	6,22	1,06	1,58

Таблица 5 — Химический состав кека

Компонент	ZnO	Pb	Fe	Прочие
Содержание, %	17,3	58,46	21,40	2,84

Таблица 6 — Химический состав кека 2-й фильтрации

Компонент	ZnO	Pb	Fe	Mn	Cu	Прочие
Содержание, %	30,42	9,73	53,18	3,30	0,38	2,99

Полученный кек (табл. 5 и 6) используется для извлечения свинца, меди, никеля, вольфрама, молибдена, кадмия, а также может быть переработан по предложенной технологии для более глубокого извлечения цинка.

Кроме того, полученный после фильтрации раствор подвергали электроэкстракции, в процессе которой на электроде (катоде) осаждался катодный цинк. После электроэкстракции раствор электролита использовали для выщелачивания пыли.

Осажденный катодный цинк, имеющий состав, представленный в таблице 7, расплавляли в индукционной печи и разливали в изложницу, получая чушковый цинк.

Таблица 7 — Химический состав конечного продукта

Элемент	Zn	Pb	Fe (феррит цинка)	Mn	Cu	Прочие
Содержание, %	99,04	0,17	0,35	0,028	0,25	0,162

В результате проведенных исследований с использованием комплексной гидро-пирометаллургической технологии переработки сталеплавильной пыли, получаемой в ДСП, были получены ценные для металлургической отрасли продукты: передельный чугун, оксид цинка, катодный и чистый цинк, а также отходы, представляющие собой шлак и газы, образовавшиеся в процессе жидкофазного восстановления.

В ходе последующих исследований необходимо оценить эффективность предложенной комплексной технологии с точки зрения финансовых и энергетических затрат, а также длительности ее отдельных этапов, что позволит определить целесообразность ее широкомасштабного внедрения в промышленное производство.

Также необходимо провести дополнительные лабораторные эксперименты по извлечению свинца, меди, никеля, вольфрама, кадмия, молибдена, а также более глубокому извлечению цинка из пыли и продуктов, полученных в ходе реализации настоящих исследований.

Список литературы

1. Стовпченко, А. П. Теоретические и экспериментальные исследования состава и восстановимости пыли дуговых сталеплавильных печей / А. П. Стовпченко, Л. В. Камкина, Ю. С. Пройдак // *Электromеталлургия*. — 2009. — № 8. — С. 29–36.
2. Mchado, J. G. Characterization study of electric arc furnace dust phases / J. G. Mchado // *Materials Research*. — 2006. — № 1. — P. 30–36.
3. Леонтьев, Л. И. Техногенные отходы черной и цветной металлургии и проблемы окружающей среды / Л. И. Леонтьев, В. Г. Дюбанов // *Экология и промышленность*. — 2011. — № 4. — С. 32–35.
4. Патрушов, А. Е. Современные методы переработки техногенного сырья электросталеплавильного производства / А. Е. Патрушов, Н. В. Немчинова, В. Е. Черных, А. А. Тютрин // *Вестник ИрГТУ*. — Т. 22. — № 4. — 2018. — С. 183–190.