

## Технологии переработки пылей газоочисток электродуговых печей, содержащих соединения цинка

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

При плавке металлошихты содержащей оцинкованную сталь в электродуговых печах пыль системы газоочистки содержит значительное количество оксида цинка и других более сложных соединений, содержащих цинк. В настоящее время при плавке стали в высокомошных печах содержание соединений цинка в пыли в пересчете на цинк составляет в среднем от 10 до 15 % цинка, что позволяет рассматривать такую пыль как один из источников получения цинка. Основными составляющими пыли электроплавки являются соединения железа, образующиеся при испарении и окислении железа в зоне горения электрических дуг и в результате интенсивной продувки ванны кислородом, а также оксид кальция в результате пылеобразования при подаче извести и диоксид кремния из загрязненной металлошихты и диспергирования шлака при кипении ванны (и другие соединения пропорционально составу шлака), а также ряд их более сложных соединений.

Учитывая, что мелкодисперсная пыль представляет опасность для окружающей среды, актуальным является поиск путей ее полезного использования вместо обезвреживания и захоронения на полигонах.

При утилизации и рециклинге пыли, как правило, рассматривают в качестве ресурса как соединения цинка, так и соединения железа. При этом практически все известные процессы предполагают их раздельное использование. Это приводит к необходимости их разделения в процессе переработки пыли.

Основные процессы выделения цинка известны достаточно давно и в той или иной мере используются на практике, однако нестабильность состава электросталеплавильных пылей и разнообразие соединений элементов требуют поиска наиболее эффективных путей для обеспечения экономически обоснованных вариантов переработки.

В настоящее время для выделения цинка могут использоваться два направления: гидрометаллургическое и пирометаллургическое.

Первое связано с использованием химических реагентов, а второе с использованием высокотемпературных процессов.

Кроме того, известны технологии получения концентратов оксида цинка из пылевидных материалов при помощи гидроциклонов (например, по способу компании British Steel и способу DeZn японской компании Rasa Corp.).

Основной проблемой большинства технологий является необходимость переработки относительно небольших объемов пыли, образующейся на отдельном предприятии. С другой стороны, хорошо известно, что удельные капиталовложения увеличиваются при уменьшении производительности оборудования, а кроме того при уменьшении производительности увеличиваются удельные энергозатраты. Перевозка пыли из разных мест на перерабатывающий завод большой производительности экономически нецелесообразна, так как сопряжена с высокими транспортными и организационными расходами. Как результат эффективные в одних странах технологии (особенно при высоких требованиях к охране окружающей среды и значительных объемах отходов) могут быть не окупаемыми в других странах.

Так как гидрометаллургические способы требуют дорогостоящего оборудования, кислот (щелочей) и других реагентов, а кроме того содержат отходы, имеющие степень опасности выше чем исходная пыль, то для местного применения целесообразно рассматривать пирометаллургические процессы в различных их модификациях.

Различные пирометаллургические технологии опробованы в пилотном и промышленном масштабе.

Рассмотрим основные технологии, которые были реализованы в промышленных масштабах.

Вельц-процесс.

Наиболее распространен в настоящее время и относится к наилучшей доступной технологии на ближайшие 25 лет [1]. Особенности: выдержка предварительно окомкованной шихты без восстановителя во вращающейся трубчатой печи при температуре 1200 °С, улавливание возгонов цинка после конденсации в системе газоочистки, низкая степень металлизации, степень извлечения цинка 98% (в сыром оксиде цинка содержится 50–60% Zn). Достоинства: низкое энергопотребление; оптимизированная технология; простота технологического процесса в одну ступень. Недостатки: низкое качество продукта («грязный» оксид цинка); большое количество вновь образующихся отходов (около 700–800 кг/т загруженной пыли); извлечение только одного ценного металла.

Вельц-процесс, комбинированный с выщелачиванием по способу компаний Horsehead (США), Glencore (Италия) и «Акита» (Япония).

Продуктом является металлический цинк. Достоинства: независимость от первичных цинковых заводов; возможность извлечения свинца и серебра; удаление хлора и фтора до низкого уровня. Недостатки: высокие инвестиционные затраты, высокая себестоимость цинка; низкая степень восстановления железа.

Высокая степень извлечения цинка 90–99 % достигается в процессах получения металлизированного продукта в процессах компаний Крупп и Лурги (Германия), компаний «Кавасаки сэйтэцу» и «Сумитомо киндзоку коге» (Япония) (например, Dust Reduction, SPM и др.), компании «Ниппон кокан» (Япония), технология SL/RN. Все эти процессы предполагают восстановление оксидов железа из широкого спектра отходов углеродсодержащими восстановителями (лигнит, коксик, уголь, антрацит) при использовании вращающихся трубчатых печей. Общими недостатками данных процессов являются: высокие капитальные и эксплуатационные затраты, значительные размеры трубчатой печи, сложность организации температурного контроля и управления тепловой и технологической работой печи, низкий КПД процесса металлизации.

«Тиссен-Шталь» (Германия)

Особенности: выдержка окомкованной пыли доменного и сталеплавильного цехов в кипящем слое при температуре 1000 °С в восстановительной атмосфере (степень металлизации до 97%), отделение продуктов возгонки от пыли в циклонах, улавливание возгонов после охлаждения и конденсации в рукавных фильтрах (извлечение цинка 80%). Преимущества: исключение стадии окускования пылевидных отходов, эффективный тепло- и массообмен. Недостатки: невысокая степень использования газа-восстановителя, повышенный расход тепла, нарушение стабильности кипящего слоя вследствие слипания частиц при степени металлизации свыше 25–30%.

Процессы Fastmet и Fastmelt, компаний KobeSteel и Midrex direct reduction corporation.

Fastmet – восстановление электросталеплавильных пылей во вращающихся кольцевых печах при температуре 1300–1350 °С, Fastmelt – плавление восстановленного продукта в электропечи. Степень металлизации в процессе Fastmet – 75–94%. Степень извлечения цинка 98–99%. Достоинства: возможность рециклинга железа, высокая производительность процесса (время восстановления около 10 мин.) Недостатки: высокие капитальные и эксплуатационные затраты, высокое энергопотребление, окупаемость при переработке не менее 200 тыс. тонн пылей, нестабильный состав железа прямого восстановления.

Primus Process, компания Paul Wurth (Люксембург)

Двухступенчатый процесс. Доменные и конвертерные шламы, замасленная прокатная окалина, пыль электросталеплавильного производства, восстановитель (уголь), загружаются в многоподовую печь, где происходит предварительное восстановление при температуре 1100 °С. Железо прямого восстановления переплавляется в электродуговой печи в литейный чугун. Концентрат оксида цинка с содержанием цинка более 60%. Достоинства: широкий спектр пе-

перерабатываемых металлургических отходов, получение высококачественного конечного продукта в виде литейного чугуна и концентрата оксида цинка, исключение стадии брикетирования. Недостатки: высокие капитальные затраты, высокое потребление энергоресурсов. Примеры: установка производительностью 85 тыс. т отходов в год эксплуатируется в Люксембурге, на Тайване – установка мощностью 120 тыс. т/год.

Процесс компании ZincOx Resources.

Брикетирование пылевидных железосодержащих отходов и угольной мелочи со связующим, прокалка в кольцевой печи с вращающимся подом при температуре  $> 1250$  °С, улавливание возгонов цинка в рукавных фильтрах после охлаждения и конденсации 85–90, содержание  $Fe_{мет}$  в продукте – 61%. Степень извлечения цинка 90% (оксид и соли цинка). Высокая энергоэффективность благодаря непрерывному характеру процесса и дожиганию отходящих газов в печи. Недостатки: высокие капитальные затраты. Действующее предприятие в Южной Корее имеет производительность 400 тыс. т отходов в год.

Технология Охусур, компании Kuttner (Германия)

Брикетирование смеси мелкодисперсных пылей и шламов и восстановителя (кокс) на цементной связке, загрузка брикетов в шахтную печь, восстановление металлов при температуре 1000°С, непрерывный процесс плавления брикетов в шахтной печи (вагранке) при температуре 1500°С, продукт – чугун. Улавливание возгонов цинка в системе газоочистки (содержание цинка – более 30%). Недостатки: высокое потребление топлива, необходимость в дальнейшей переработке соединений цинка.

Процесс PIZO, компании Heritage (США). Непрерывный одностадийный процесс с плавлением восстановленного продукта в индукционной печи. Содержание цинка в сыром оксиде 65–70% [1]. Недостатки: высокое энергопотребление, низкий выход и низкое качество получаемого оксида цинка и железной фазы, относительно низкая производительность, взаимодействие возгоняемого цинка с огнеупорной футеровкой.

*Плазменные технологии переработки цинксодержащей сталеплавильной пыли*

Технология ScanDust (Швеция)

Перемешивание электросталеплавильной пыли с коксом и водой, инжектирование в нижнюю часть плазменного генератора, улавливание возгонов в газовом фильтре. Степень металлизации высокая. Оксид цинка улавливают и восстанавливают в других процессах.

Процесс ArcFume (Норвегия). Смешивание пыли с восстановителем (кокс, уголь, угольная пыль), подача в плазменную печь с восстановительной газовой атмосферой, улавливание частиц цинка в рукавном фильтре. Степень металлизации низкая, железо восстанавливается до  $FeO$ , который образует шлак. Достоинства: гибкость к изменениям параметров процесса, возможность исключения стадии окускования пыли. Недостатки: высокие энергозатраты, жесткие требования к качеству сырья по химсоставу и крупности.

Компания Tetronics (Великобритания), компания «Минтек» (США).

Загрузка пылевидных отходов в плазменнодуговые печи с центральным вращающимся наклонным плазмотроном (катодом) и ванной (анодом), плазмообразующий газ – аргон или азот. Восстановление при температуре 1500–1550 °С с разложением органических и неорганических соединений. Конечный продукт – чугун и сырой оксид цинка. Достоинства: исключение стадии окускования пылевидных отходов, минимальное воздействие на окружающую среду, простота управления и обслуживания; относительно низкие капитальные затраты и эксплуатационные расходы; универсальность технологии, возможность переработки широкого спектра отходов. Недостатки: высокие энергозатраты.

## Литература

1. Волынкина Е.П. Вторичные ресурсы, образующиеся в металлургической промышленности // Электронный ресурс URL: [https://eipc.center/wp-content/uploads/2020/08/encycl/p\\_three/chpt\\_18.pdf](https://eipc.center/wp-content/uploads/2020/08/encycl/p_three/chpt_18.pdf) (дата обращения: 15.02.2021)