

**КОМПЛЕКСНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЫРЬЯ**



В последние годы вопросы переработки промышленных отходов приобретают все большую актуальность. Вступающая в новый период развития промышленность важнейшую роль отводит охране здоровья человека, окружающей среды и повышению ресурсной эффективности производства, что является неотъемлемой частью промышленной политики государства.

Отходы газоочистки медных предприятий Уральского региона имеют сложный химический состав. До недавнего времени в России такие пыли не перерабатывали в связи со сложным химическим и минералогическим составом, существенно

отличающимся от рудного сырья, а также отсутствием технологии, позволяющей извлечь все металлы из такого вида отходов.

Развитие наилучших доступных технологий в настоящее время позволяет вовлекать в переработку часть накопленных и вновь образующихся отходов медной промышленности с получением товарного металла и промпродуктов.

Интеграция предприятий УГМК по переработке пылей газоочисток позволила комплексно использовать техногенное полиметаллическое сырье и привела к значительному снижению

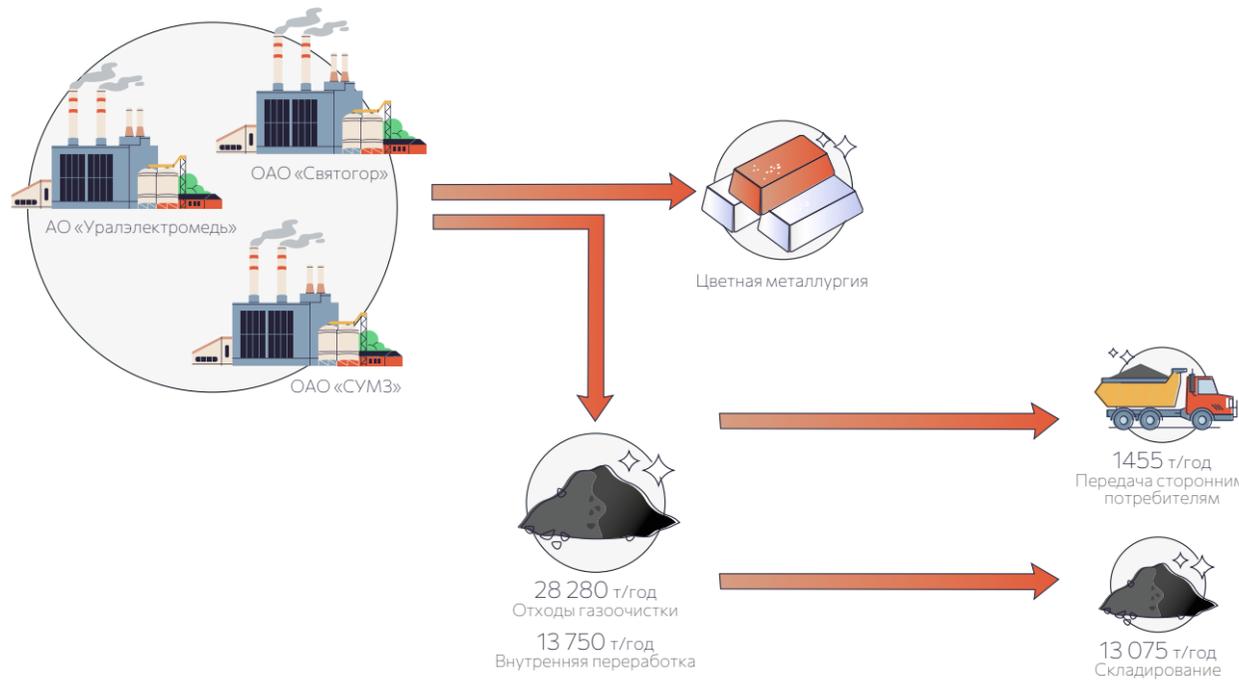
негативного воздействия на окружающую среду. Разработка и освоение в рамках АО «Челябинский цинковый завод» пирометаллургической технологии переработки отходов предприятий медной промышленности (филиал ППМ АО «Уралэлектромедь», ОАО «Святогор», ОАО «СУМЗ») позволяет ежегодно производить около 5 тыс. т товарного цинка и свинца и около 1 тыс. т меди в промпродуктах.

Было разработано множество как гидрометаллургических, так и пирометаллургических процессов, но успешным оказался только вельц-процесс, посредством которого в настоящее время

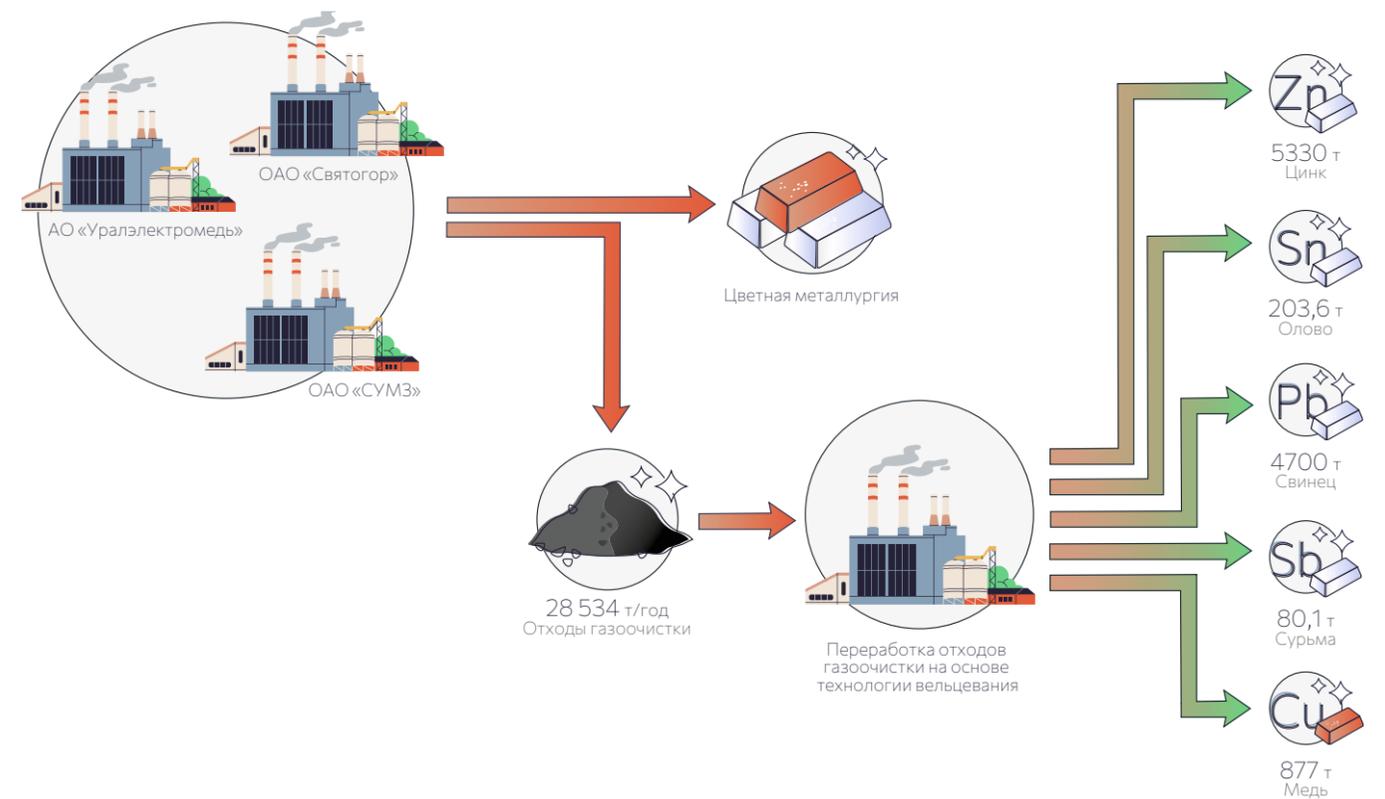
перерабатывается более 85% пылей, образующихся при переработке железоцинкосодержащего лома.

Интеграция предприятий Челябинской и Свердловской областей в рамках УГМК с использованием технологии вельцевания на принципах НДТ позволяет дополнить сырьевую базу металлургических предприятий, обеспечить комплексную переработку полиметаллического техногенного сырья с извлечением цветных металлов, содержащихся в данном сырье в значимых количествах, и решить экологические проблемы, связанные с захоронением отходов 2–4-го классов опасности.

2010



2022



Реализация принципов НДТ в рамках предприятий Уральской горно-металлургической компании (УГМК)

Отходы газоочистки медных предприятий Уральского региона имеют сложный химический состав (содержание некоторых компонентов приведено в таблице 1).

До недавнего времени в России такие пыли не перерабатывались в связи со сложным химическим и минералогическим составом, существенно отличающимся от рудного сырья, а также отсутствием технологии, позволяющей извлечь все металлы из такого вида отходов.

Интерес представляет извлечение из указанных отходов следующих металлов: цинка, свинца, олова, индия, кадмия, меди, золота, серебра. Присутствие в отходах железа и цинка создает типичную проблему по их разделению.

Было разработано множество как гидрометаллургических, так и пирометаллургических процессов, но успешным оказался только вельц-процесс, посредством которого в настоящее время перерабатывается более 85% пылей, образующихся при переработке железцинкосодержащего лома [3–10].

Базовая научно-техническая идея, заложенная в основу технологии вельцевания, состоит в дистилляционном разделении элементов поликомпонентных оксидных систем в восстановительных условиях [11].

Поступающие промышленные продукты медного производства подвергаются пирометаллургической переработке во вращающихся трубчатых печах с переводом ценных компонентов в летучие соединения и последующим улавливанием возгонов в системе фильтров для дальнейшей переработки по схемам выщелачивания. В результате переработки цинк переводится в сульфатный раствор для дальнейшей электроэкстракции металла. Медь и большая часть драгоценных металлов переводятся в клинкер, направляемый на предприятия медного производства УГМК. Свинец, часть олова и часть драгметаллов переходят в свинцовый кек, направляемый на свинцовое производство в филиал ПСЦМ АО «Уралэлектромедь».

Для обеспечения потребностей свинцового производства ПСЦМ в условиях АО «ЧЦЗ» освоена

содовая обработка (карбонизация) свинцового кека. На свинцовое производство (плавку в короткобаранных печах) направляется сырье, содержащее 40–50% свинца.

Объемы переработки пылей медного производства в АО «ЧЦЗ» постоянно возрастают. Если в 2010–2016 гг. перерабатывались только пыли УРФ АО «Уралэлектромедь» (текущие и из отвалов), то с конца 2017 г. начата переработка пылей ОАО «Святогор», с марта 2019 г. — ОАО «СУМЗ».

Расширение номенклатуры перерабатываемых пылей и общее повышение их объемов (с 17 410 т в 2016 г. до 24 476 т в 2021 г.) предъявляют расширенные требования к ведению вельц-процесса. В октябре 2016 г. в АО «ЧЦЗ» пущена в работу большегрузная вельц-печь №6, что увеличило мощности вельц-цеха на ~30% и открыло потенциальную возможность увеличения объемов переработки цинк-свинецсодержащего сырья.

Технологические решения на данном этапе развития технологии переработки отходов газоочистки медных предприятий

Технологическая блок-схема переработки пылей медеплавильного производства на ОАО «ЧЦЗ» приведена на рис. 1.

Принципиальной особенностью технологии является введение двухстадийного процесса вельцевания. Вельцевание 1 — для полного разделения летучих (Zn, Pb) и нелетучих (Fe, Cu) компонентов. Вельцевание 2 — для очистки первичного вельц-оксида от примесей.

Вельц-печи являются универсальными агрегатами, и в них можно перерабатывать цинксодержащие промежуточные продукты и отходы [12].

При переработке пылей медеплавильного производства используется шихта, состоящая из % мас.: 70–63 цинк-свинецсодержащего материала, 30–37 твердого углеродистого восстановителя и доломита.

Технология реализована следующим образом: шихту состава % мас.: 25 Zn, 6–7 Pb, 15–25 Fe, 2–5 Cu, до 7 SiO₂, коксовая мелочь (85–95% фракции — 4 мм), доломит (80–90% CaCO₃) крупностью 10 мм смешивают, гранулируют с добавлением воды; полученные гранулы крупностью 2–4 мм загружаются в трубчатую печь. В реакционной зоне печи поддерживают температуру процесса 1100–1200 °С (вельцевание 1). Получаемые при вельцевании возгоны содержат до 55% Zn.

Вельц-оксид, имеющий состав % мас.: 47–55 Zn, 31–35 Pb, направляли на вельцевание 2.

Клинкер состава % мас.: Zn ≤1,0, Pb ≤1,0, Cu 6–8 направляли на медеплавильный завод на переработку и извлечение меди.

Для эффективной отгонки свинца и цинка в условиях вельц-процесса используется доломит в качестве флюсующей добавки и реагента.

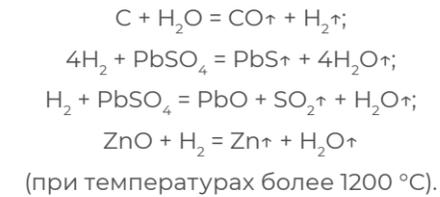
Таблица 1. Химический состав некоторых пылей газоочистки медного производства, %

Продукт	Zn	Pb	Cu	Fe	Sn	Ss	SsO _x	Cl	F
Пыли, УРФ (филиал ППМ АО «Уралэлектромедь»)	19	15,3	5,8	8,3	1,9	3,1	4,9	1,9	0,13
Технический оксид цинка, ОАО «Святогор»	24,5	24,9	2,6	1,8	0,5	0,5	14,7	0,07	0,01
Пыли, ОАО «СУМЗ»	24,6	15,4	2,0	1,0	0,2	0,4	13,8	0,006	0,005

Интенсификация вельц-процесса реализуется посредством подачи в печь через разгрузочное отверстие (в противоток загружаемому материалу) дополнительного воздушного дутья, в том числе сжатого воздуха (4–6 атм), технического кислорода, природного газа. Приведенные энергоресурсы являются внешними, их расход оказывает влияние на эффективность технологии.

В то же время вельц-печь сама может служить источником вторичных энергоресурсов, так как значительное количество (более 60%) тепловой энергии

реакции сгорания углерода коксика выводится из печи с горячим клинкером и печными газами. Для вельц-печи АО «ЧЦЗ» реализована утилизация тепла отходящих газов с выработкой насыщенного пара высокого давления (до 8–10 атм). Пар используется для технологических нужд завода, в том числе для интенсификации вельц-процесса. Этим достигаются возврат части тепловой энергии в печь и прохождение реакций, интенсифицирующих процессы горения углерода, восстановления металлов, приводящих к улучшению теплообмена в печи. При подаче пара в печь имеют место реакции:



Кроме того, водяной пар, как и диоксид углерода, является хорошим поглотителем теплового излучения, передающегося от нагретого материала стенкам печи через газовое пространство. Ввод водяного пара в газовое пространство печи в зоне формирования клинкера позволяет поглотить часть теплового излучения от горячего (1100–1200 °С) материала и с потоком газов перераспределить его в верхние зоны печи.

При подаче пара в печь в зоне температур 1000–1050 °С появляется новый активный восстановитель — водород (H₂), который, попадая в реакционную зону вместе с оксидом углерода (CO), способствует достижению следующих эффектов:

- ▶ увеличивается протяженность реакционной зоны и сокращается протяженность зоны разложения сульфатов;
- ▶ сульфаты свинца восстанавливаются до легковозгоняемых сульфидов, при этом увеличивается возгончатая способность печи при переработке богатых по свинцу материалов;
- ▶ возрастают степень отгонки цинка и свинца, а также производительность печи без увеличения температуры реакционной зоны.

На рис. 2 представлена фотография вельц-комплекса, на базе которого реализована технология, разработанная в рамках настоящего проекта.

Коксовая мелочь, флюсующие добавки (доломит, песок), цинксодержащие материалы поступают железнодорожным и автомобильным транспортом

и выгружаются в бетонированные отсеки скрытого склада шихты.

После выгрузки на конвейер шихта поступает в барабанный гранулятор диаметром 2,2 м и длиной 7 м, где окончательно смешивается и окомковывается. На складе предусмотрено использование обоих способов подготовки шихты для надежного обеспечения непрерывной загрузки вельц-печи. Смешивание шихты осуществляется с подачей воды для предотвращения пыления и улучшения окатывания материала.

Цинксодержащая шихта, коксовая мелочь, флюсующие добавки из загрузочных бункеров и барабанного гранулятора склада транспортерами и скиповыми подъемниками подаются в расходный бункер печи. В другой расходный бункер загружается остальная коксовая мелочь (размер 2–8 мм).

Клинкер 1 (сырье для предприятий черной металлургии или медеплавильного производства) из печи по желобу гидросмывом перемещается

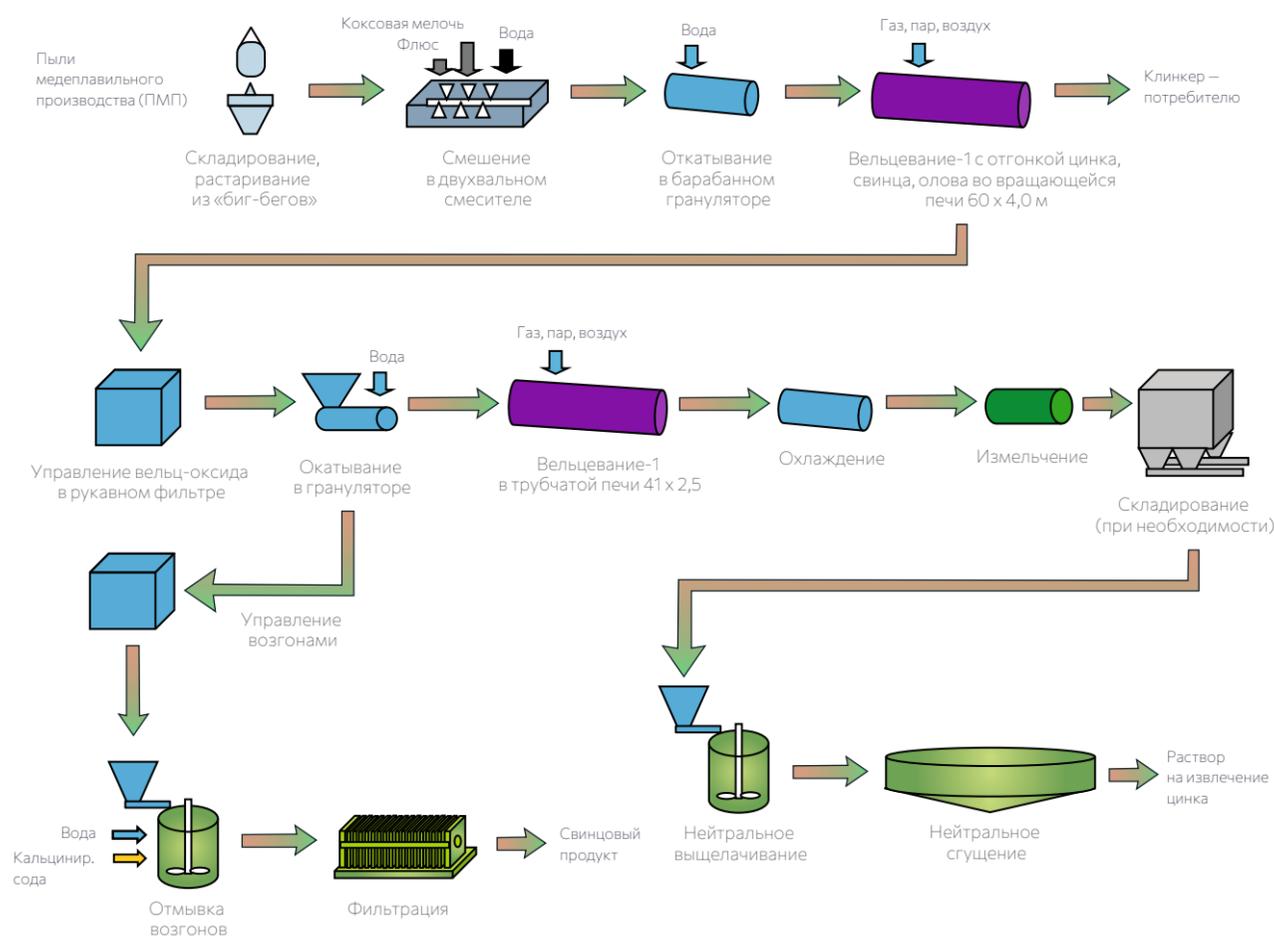


РИС. 1. Технологическая блок-схема переработки пылей медеплавильного производства



РИС. 2. Вельц-комплекс

в зумпф, откуда грейферным краном поднимается на площадку обезвоживания и далее отгружается в железнодорожные полувагоны для отправки потребителю (рис. 3).



РИС. 3. Склад клинкера

На нижней головке печи предусмотрена подача через разгрузочное отверстие сжатого воздуха низкого и высокого давления, природного газа, технического кислорода, пара, порошкообразных технологических добавок. В зависимости от состава перерабатываемого сырья оператор может использовать перечисленные объекты в различных комбинациях.

Первоначально в печь подавался только воздух низкого давления по двум неподвижным трубам. Его расход составлял до 25 тыс. м³/ч, что часто затрудняло поддержание необходимого тягового режима вельц-печи и ухудшало ее тепловой баланс. В процессе освоения стал использоваться сжатый воздух высокого (до 0,4–0,5 МПа) давления, подаваемый через воздуходувную трубу с регулируемым направлением подачи. При использовании сжатого воздуха его воздействие на процесс оказалось

более эффективным, что позволило снизить общий расход воздуха до 4–10 тыс. м³/ч, из которых 3–5 тыс. м³/ч приходится на воздух высокого давления. При этом подогрев печи природным газом в течение ее непрерывной работы производится только в пусковой период и при непредвиденных остановках печи. В ходе внедрения новой технологии был освоен способ подачи пара, который дал результат с высоким эффектом.

Оптимальная скорость вращения вельц-печи зависит от состава шихты и регулируется в диапазоне 0,3–0,8 об/мин. Регулирование скорости вращения позволяет изменять время пребывания материала в печи и в зависимости от него и от объема загрузки вести процесс в оптимальном режиме.

Отходящие газы вельц-печи поступают в вертикальный котел-утилизатор, который сблокирован с пылевой камерой, оснащенной охлаждающими экранами на боковых стенках и своде (рис. 4). Экраны выполнены из труб диаметром 42 мм и толщиной 5 мм, общая поверхность нагрева — 232 м. В потолок радиационной камеры вмонтирована тетка для загрузки шихты в вельц-печь. Радиационная камера одновременно служит осадителем для крупных частиц, уносимых из печи (как правило, это компоненты шихты), и снабжена 4 бункерами. Материалы из бункера, находящегося непосредственно под верхним срезом печи (туда попадают наиболее крупные частицы и шихта, пересыпавшаяся через загрузочный порог) являются оборотными и элеватором возвращаются в загрузочный бункер печи. В остальных бункерах под пылевой камерой и котлом-утилизатором скапливается тонкая пыль, которая может быть как направлена в загрузку печи, так и присоединена к готовому продукту вельцевания (вельц-оксид).

В качестве флюсов в шихте вельцевания используется доломит, который позволяет увеличить силикатный модуль шихты (CaO/SiO₂) на основе цинковых кеков с 0,4–0,5 до оптимальных — более 1,1. Добавка доломита увеличивает активность железа, повышает степень отгонки цинка. На футеровке печи образуется защитный гарнисаж, который сокращает ее износ и увеличивает срок службы. Ввод в шихту песка используется при содержании в ней более 28% железа, чтобы предупредить образование металлизированных настелей и криц.

Газы из радиационной камеры проходят по вертикальным газоотходам котла, снабженным ширмами из труб — конвективными поверхностями нагрева, и через экономайзер, в который подается свежая питательная вода, нагретая до температуры



РИС. 4. Котел-утилизатор

70–95 °С. Общая поверхность нагрева шести блоков составляет 1560 м, в двух блоках-экономайзерах — 332 м. Для удаления отложений пыли с поверхностей теплообмена используется газоимпульсная очистка.

После оптимизации процессов очистки поверхностей и выгрузки пыли из бункеров работа котла стала стабильно обеспечивать охлаждение газов с температурой в интервале от 600–750 до 200–250.

Котел-утилизатор позволяет получать более 10 т/ч пара при давлении до 1,7 МПа, что обеспечивает использование вторичных энергоресурсов. Фактическое производство пара в перерасчете на расход коксовой мелочи равноценно ее экономии 80–140 кг/т перерабатываемых кеков.

Осаждение пыли в камере и котле-утилизаторе позволяет снизить пылевую нагрузку на рукавные фильтры, обогатить товарный продукт по цинку, снизить содержание компонентов, механически выносимых из печи. Содержание железа в пыли, собираемой в пылевой камере и котле-утилизаторе, составляет 5–12%, что не позволяет направлять продукт на гидрометаллургическую переработку. Пыль подвергается гранулированию на тарельчатом грануляторе и загружается в печь с шихтой.

Реализация мероприятий по совершенствованию шихтоподготовки позволила снизить вынос компонентов шихты из печи и содержание железа в пылях котла-утилизатора, что обеспечило возможность направлять их на переработку и увеличить выход готового продукта вельцевания.

Для тонкой очистки печных газов от пыли используется 2 рукавных фильтра с площадью фильтрации по 1900 м. Процесс очистки отходящих газов вельц-печей ведется с использованием фильтров с импульсной регенерацией фильтроткани. Проведенные работы по подбору фильтротканей и режимов фильтрации позволили снизить в процессе внедрения содержание пыли в отходящих газах с 10 до 0,4–0,7 мг/м³. Сопrotивление фильтрации составляет не более 2 кПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация интеграции предприятий Челябинской и Свердловской областей в рамках Уральской горно-металлургической компании с использованием технологии вельцевания на принципах НДТ позволяет дополнить сырьевую базу металлургических предприятий, обеспечить

Вельц-оксид из рукавных фильтров собирается в силосах, откуда системой пневмотранспорта направляется на промежуточный склад и далее на прокалку в трубчатую печь.

При последующей переработке содержащей цинк (55–60%) и свинец (10–14%) вельц-оксида цинк извлекается в раствор, свинец остается в свинцовом кеке, являющемся сырьем для его извлечения на свинцовом производстве в филиале ПСЦМ АО «Уралэлектромедь».

комплексную переработку полиметаллического техногенного сырья с извлечением цветных металлов, содержащихся в данном сырье в значимых количествах, и решить экологические проблемы, связанные с захоронением отходов 2–4-го классов опасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скобелев Д. О., Доброхотова М. В., Курошев И. С. *Оценки ресурсной эффективности промышленного производства. Энциклопедия технологий // Качество и жизнь. 2019. №4.*
2. Козлов П. А., Паньшин А. М., Вяткин В. Н., Решетников Ю. В. *Исследования и разработка пирометаллургической технологии переработки отходов медной промышленности с извлечением цинка, свинца и олова // Цветная металлургия. 2015. №5. С 46–49.*
3. Harp G. *Eisenhaltige Kreislaufstoffe als sekundäre Rohstoffe in Europa — Processing ferriferous steelworks byproducts as secondary raw materials in Europe, Stahl und Eisen, 129 (2009), Nr. 3, 55–62.*
4. Piret N. L., Muller D. *Beurteilungskriterien der Verarbeitung von Reststoffen mit niedrigem Zinkgehalt aus der Eisen und Stahlproduktion, Erzmettal, 46 (1993), Nr. 6, 364–368.*
5. Segers. *Treatment of Electric Arc Furnace Dust. A Case Study in the Environmental Field, ATB-Metallurgie, Vol. XXXVI, Nr. 1–2, 1996, 111–122.*
6. Zunkel A. D. *EAF Dust Treatment Technologies and Processes: A Status Report, Proc. Of REWAS'99, Ed. I. Gaballah, et al., San Sebastian, 1999, Vol. II, 1453–1461.*
7. Southwick L. M. *Perspectives on hydrometallurgical processing of zinc oxide recovered from electric arc furnace dusts, Proc. Of Nichel-cobalt, 1997, Ed. C. Diaz, et al., Sudbury, Aug. 1997, Vol. III, 373–396.*
8. Rutten J. T. *Ist der Walzprozess für EAF Staub noch zeitgemäß? Stand der Technik und Herausforderungen, Vernetzung von Zink und Stahl, 2. GDMB Seminar, Leoben, Jan. 2009, GDMB Heft 118, 137–149.*
9. Nakamura T., *Zink Recycling Technology now and in the future, Proc. Of Lead&Zinc 2005, MMIJ, Kyoto 2005, Vol. I, 123–137.*
10. Якорнов С. А., Паньшин А. М., Грудницкий П. И., Дюбанов В. Г., Леонтьев Л. И., Козлов П. А., Ивакин Д. И. *Особенности процесса разложения феррита цинка известью в пылях электродуговой плавки стали // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2017. №3. С. 29–33.*
11. Козлов П. А. *Вельц-процесс. М.: Руда и металлы. 2002. 176 с.*
12. *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 13-2020. Введ. 2021-07-01. М.: Бюро НДТ, 2020. 258 с.*