

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i5.05>

Selection of technological equipment for complex processing of dross

G.M. Koishina^{1*}, E.B. Tazhiev¹, A.A. Argyn¹, A.V. Kaplan²

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Arvak Tech Ltd, Rehovot, Israel

*Corresponding author: gulzik_84@mail.ru

Abstract. The article analyses methods of dross processing with obtaining marketable products. In recent years, along with pyrometallurgical methods, hydrometallurgical methods are beginning to develop. The authors present a new waste-free technology for processing zinc-plating waste aimed at obtaining marketable products. In the work the technological scheme of new, combined, waste-free technology of processing of zinc smelting waste with obtaining of marketable products is constructed. Technological calculations on dross processing for specific productivity of 100 tonnes per day are made, recommendations on design of the enlarged installation and on operation of the technology are given. Technological calculations were carried out using a specially developed program that considers the optimum parameters and modes of technology. This allows the authors to obtain accurate data and estimates of the dross processing process and optimize the operation of the plant. The use of the developed technology of complex dross processing will allow to stimulate the development of zinc production in the republic due to involvement of dross in processing as an additional source of raw materials. Utilization of dross with obtaining of marketable products with high added value will allow to release considerable areas of land occupied by it. Overall, the paper emphasises the potential of the new technology to address the problems of dross processing, stimulate the growth of the zinc industry and reduce the environmental impact of dross accumulation.

Keywords: dross, processing, technological calculations, technology, technological scheme, marketable products.

1. Введение

Мировое производство металлического цинка в последнее десятилетие демонстрирует небольшой рост. Сегодня его потребление достигает 14 миллионов тонн [1,2]. Основные направления использования цинка включают процессы оцинкования, производство цинковых сплавов, латуни и бронзы, химикатов, а также других продуктов на основе цинка. В мировом потреблении цинка, с долей ~ 50%, от всего производимого цинка, составляет горячее оцинкование стали [3].

Цинковое покрытие имеет хороший внешний вид и позволяет увеличить срок службы стальных изделий в 2-3 раза, надежно защищая их от атмосферной, водной и других видов коррозии. На процесс горячего оцинкования со стороны исследователей обращается недостаточное внимание, хотя здесь имеются большие резервы, носящие проблемный характер. Среди назревших проблем следует отметить: необходимость стабилизации качества покрытия и повышение эффективности производства как за счет совершенствования самого технологического процесса горячего оцинкования, так и за счет утилизации образующихся в процессе оцинкования в больших количествах ценных промышленных отходов (изгари), которые после переработки следует возвращать в основное производство.

Анализ результатов известных работ по переработке цинксодержащих отходов (ЦСО), позволил установить, что, существующие в настоящее время технологии и оборудование, не в полной мере учитывают специфику отходов производства горячего цинкования. Предприя-

тия цинковой отрасли обладают существенными недостатками, не позволяющими решить задачу утилизации цинксодержащих отходов в условиях предприятий, осуществляющих горячее оцинкование изделий.

Вторичное рафинирование цинка большинство предприятий России и дальнего зарубежья проводят в рамках цеха (участка), где осуществляется горячее оцинкование. При этом каждое предприятие использует различное оборудование и технологию. «По требованию потребителя в цинке, предназначенном для производства литейных и свинцовистых медно-цинковых сплавов и для горячего цинкования изделий и полуфабрикатов, массовая доля свинца для марки Ц2 не должна быть более 1.2%, для марки Ц3 не более 2.3%, массовая доля меди - не более 0.08%».

Из специальной литературы известно, что свинец обладает более высокой плотностью, чем цинк, и оседает на дно ванны цинкования. Более того, свинец вводится в ванну цинкования специально для достижения нескольких целей. Во-первых, для облегчения удаления гартцинка, который обладает более высокой плотностью, чем цинк, но меньшей, чем свинец, по этой причине он опускается в ванне на границу раздела цинк-свинец. Во-вторых, если материалом, из которого изготовлен корпус ванны, является сталь, свинец защищает днище ванны и сварные швы от разъедания цинком. В-третьих, в ваннах вертикального типа свинцом заполняют большую ее часть, с целью экономии цинка. В-четвертых, использование чистых марок цинка, таких как ЦВ, ЦОА, ЦО вызывает необходимость добавления свинца, а также олова

для повышения смачиваемости цинка и снижения его вязкости [4], а также для улучшения товарного вида покрытия, образования «узоров» кристаллизации [5]. Поэтому, как принято на практике, повышенное содержание свинца и меди не является препятствием для использования цинка вторично в ванне цинкования, при утилизации изгари из которой он был выплавлен.

Железо накапливается в расплаве цинковальной ванны за счет растворения оцинковываемых стальных деталей, элементов оснастки и тиглей. Его содержание в расплаве по мере кампании ванны постоянно нарастает и вновь снижается в результате чистки ванны от гартцинка. Возможное незначительное превышение содержания железа в цинке, используемом вторично, по сравнению с марочным цинком, является следствием высокого содержания железа в расплаве ванны в период снятия изгари, из которой он был выплавлен и поэтому не может быть препятствием для использования такого цинка. Кроме того, железо из расплава удаляется с гартцинком.

Особую актуальность данная проблема представляет для предприятий Казахстана, где в силу развития строительной индустрии в республике резко повысился спрос на широкий ассортимент стальных и других изделий (трубы, швеллеры, квадраты, проволока и др.), полученных после горячего цинкования. В настоящее время горячее оцинкование изделий используют в городах Шымкент (ТОО «Велунд сталь», ТОО «БВБ Альянс» и др.), Усть-Каменогорск (ТОО «Снабтехмет», ТОО «Казмет», ТОО «Казметсервис»). Ряд предприятий малого и среднего бизнеса сосредоточено в г. Караганда. Увеличение мощностей предприятий горячего цинкования стальных изделий привело к тому, что большие объемы изгари, получаемые после оцинкования изделий, начали накапливаться и складироваться, занимая большие территории. Дальнейшее использование и переработка изгари сдерживается повышенным содержанием в ней Pb, Fe, Cu и других примесей, а также отсутствием рациональной технологии переработки.

Вырабатываемый в результате утилизации изгари горячего цинкования вторичный цинк пригоден для возврата в эти ванны без дополнительного рафинирования. Тем не менее, процесс вторичного использования цинка не может продолжаться бесконечно, и требует определенного эффективного решения. Это связано с тем, что вторичное использование цинка приводит к накоплению металлов-примесей, концентрирование которых в цинке оказывает существенное отрицательное влияние на общий процесс горячего цинкования. До настоящего времени данный вопрос не находит своего решения.

Как показали результаты химического анализа проб металлической части изгари, отобранных на различных предприятиях малого и среднего бизнеса республики, они характеризуются примерно одинаковым содержанием металлов-примесей, которые варьируют в пределах, %: 0.75-0.86 Pb, 0.18-0.27 Fe, 0.10-0.2 Cu, 0.004-0.006 Cd. Незначительное содержание и узкий предел варьирования примесей не оказывает существенного давления на дальнейшее его вторичное использование в процессе горячего цинкования изделий. Наиболее важным представляется наличие оксида цинка, который покрывает поверхность мелких капель металлического цинка пленкой и тормозит процесс их коагуляции. Это существенно влияет на эффективность процесса в целом.

Одинаковый общий вид изгари и выделенных из нее металлической и окисленной составляющей с приблизительно равными содержаниями металлов-примесей в них объясняется одинаковыми технологиями и обрабатываемыми изделиями, выпускаемыми в республике, которые находят большой спрос в строительстве жилых домов и других объектов. К наиболее распространенным и характерным строительным материалам, полученным после горячего цинкования, можно отнести оцинкованные трубы, проволоки, швеллера и др. (таблица 1).

Таблица 1. Изделия, полученные после горячего цинкования

Общий вид изделия	Характеристика изделия
	Круг оцинкованный. ГОСТ 3282. Размер: 0.1-10 мм. ГОСТ 30136-95; 2590-88 Размер: 2.0-5.5 м до 6 м.
	Проволока оцинкованная. ГОСТ 3282 Размер от 0.1 мм до 10 мм
	Швеллер оцинкованный. ДСТУ 4484-2005 (ГОСТ 8240-89) Размер до 12.0м
	Полоса оцинкованная. ГОСТ 103-06 Размер от 6м/3-5м до 1.0-2.0м
	Уголок оцинкованный. ГОСТ 8509-93 (ДСТУ 2251-93) Размер от 6.0 м до 12.0 м
	Труба оцинкованная. ГОСТ 3262-78; 10704-91 Размер от 6 м до 9м;12м

Изыскание способа рациональной переработки изгари, которое сегодня может быть значительным резервом для производств занимающихся оцинкованием изделий привлекает внимание многих исследователей. В целях снижения себестоимости производства в настоящее время на практике широко используются пирометаллургические способы переработки изгари с получением металлического цинка [6-9].

Наиболее распространенные способы переработки цинксодержащих отходов предусматривают их помеще-ние в цилиндрические барабаны или реторты различных

конструкций, нагреваемые до температуры, выше температуры плавления цинка. Барабаны затем вращают для интенсификации отделения расплавленного цинка от шлама [1].

К недостаткам данной конструкции относится недостаточная герметизация внутреннего объема барабана, обусловленная самой конструкцией загрузочного и разгрузочного устройства. В период открытия разгрузочного отверстия через барабан осуществляется сквозной проток атмосферного воздуха из-за разности температур со стороны загрузки и выгрузки. Это приводит к активному окислению освобождающегося металлического цинка и, следовательно, к его потере.

Второй существенный недостаток печи - отсутствие непосредственного (прямого) контакта с сырьем, загруженным в барабан, стенок разогретой камеры сгорания, что также является следствием примененных конструкций загрузочного и разгрузочного устройств и причиной низкой эффективности использования тепловой энергии сжигаемого топлива.

Кроме того, учитывая большую массу барабана, печь требует большого времени разогрева, что нецелесообразно при проведении разовых плавов, а учитывая большие размеры и стационарный характер, требует больших площадей и обладает высокой стоимостью.

Наиболее эффективным является способ переработки изгари, где ее разделяют на металлическую и неметаллическую составляющие и каждую из них перерабатывают отдельно. Металлическую часть плавят в индукционной печи под слоем флюса (хлористого аммония и древесного угля), расплавленный цинк разливают в слитки и направляют на предприятия вторичной цветной металлургии для производства латуни. Из металлической части получают металлический цинк следующего состава, %: 95.9 Zn; 1.54 Pb; 0.9 Fe; 0.4 Cu.

Выделенную оксидную часть изгари подвергают обжигу при температуре 800-900°C и получают оксид цинка, который используется для приготовления белил или может перерабатываться на цинковом заводе на металлический цинк [10]. К недостаткам данного способа относятся: трудность полного разделения металлической и неметаллической – оксидной фракции, на что указывают сами авторы; в металлических корольках цинка всегда присутствуют примеси (оксид цинка) в виде вкраплений, которые возникают при застывании изгари цинка и образовании корольков.

К основному недостатку способа относится повышенное содержание корольков металлического цинка и свинца в оксидной (неметаллической) части изгари, наличие которых сильно сказывается на качестве получаемых товарных продуктов (цинковых белил).

Как показывает анализ, известные способы извлечения металлического цинка характеризуются большими энерго- и материальными затратами, связанными с использованием дорогостоящих реагентов. При этом не обеспечивается высокое извлечение цинка и комплексность использования исходного сырья (изгари). Вопросы переработки неметаллической части изгари, получаемой после извлечения цинка, до сих пор остаются открытыми.

Известен способ переработки изгари путем ее плавки при температуре 420-460°C совместно с флюсами из хлористого натрия и хлористого аммония [1]. Способ

включает образование слоя шлака, предохраняющего металл от окисления в процессе плавки, который образуется в результате химического взаимодействия оксида цинка с флюсами. При взаимодействии с флюсами оксидная пленка, покрывающая поверхность металлических корольков, растворяется. В результате обеспечивается быстрое отстаивание металла за счет слияния металлических корольков и их укрупнения.

Недостатком способа являются большие потери цинка со шлаком, низкое качество получаемого металлического цинка за счет присутствия в нем свинца и других примесей; повышенный расход флюсов, которые не регенерируются.

Имеется эффективный метод обработки изгари, основанный на ее разделении на металлическую и неметаллическую составляющие, с последующей обработкой каждой части отдельно. Металлическую часть подвергают плавке в индукционной печи, используя специальный флюс, включающий хлористый аммоний и древесный уголь. Этот процесс приводит к получению цинковых слитков, которые затем направляются на предприятия вторичной цветной металлургии для производства латуни. Анализ металлической части показывает следующий состав: 95.9% цинка, 1.54% свинца, 0.9% железа и 0.4% меди.

Неметаллическую часть изгари, содержащую оксиды, подвергают процессу обжига при температуре 800-900°C, что позволяет получить оксид цинка. Этот оксид цинка может быть использован для производства белил или подвергнут дополнительной переработке на цинковом заводе с целью получения металлического цинка.

Несмотря на эффективность данного метода, существуют определенные недостатки, включая сложности в полном разделении металлической и неметаллической (оксидной) частей изгари, что подчеркивают сами авторы данной методики. Кроме того, в металлических корольках цинка всегда присутствуют примеси, такие как оксид цинка в виде включений, которые образуются при застывании цинковой изгари и формировании корольков.

Основным недостатком этого метода является повышенное содержание корольков металлического цинка и свинца в неметаллической части изгари, что существенно влияет на качество конечных товарных продуктов, таких как цинковые белила.

В последние годы развиваются и гидрометаллургические способы [11-15]. Однако вопросы переработки окисленной составляющей изгари до сих пор остаются открытыми.

Большой интерес для переработки изгари представляет использование хлорирования металлов. Такие характеристики хлоридов металлов как низкая температура их плавления, высокая летучесть и растворимость в воде позволяют восстанавливать ценные металлы из различных отходов в виде их хлоридов [16,17]. По уровню сложности формирования хлоридов металлов и различия их свойств, металлы можно селективно хлорировать и возгонять, контролируя температуру реакции и давление паров продуктов, участвующих в реакции [18,19,20].

Цель настоящей работы – выбор технологического оборудования для переработки изгари с получением товарных продуктов: чистого оксида цинка в виде порошка и металлического цинка качества.

2. Методы и материалы

Расчеты проведены для переработки изгари полученного в АО «АрселорМиттал Темиртау», состав которого приведен в таблице 2. Химический состав исходной изгари определялся по методики приведенной в работе [21].

Таблица 2. Химический состав исходной изгари

Наименование продукта	Содержание металлов, мас. %						
	Zn	Pb	Fe	Ni	Cu	Cd	Прочие
Изгарь	78.7	0.34	0.54	0.3	0.06	0.002	20.058

Технологические расчеты проведены с использованием специально разработанной программы авторами настоящей работы с учетом оптимальных параметров и режимов технологии [22].

3. Результаты и обсуждение

Выдача рекомендаций по проектированию укрупненной установки должно базироваться на данных технологических параметров и количественно-качественных характеристиках исходных и получаемых продуктов. При этом основное внимание акцентируется на основных узлах технологии, и выбор оборудования, характеристики которых определяются путем технологических расчетов с учетом производительности перерабатываемого сырья, объемов входных и выходных потоков, производственных условий и возможностей предприятий. Это обеспечивает более точное и эффективное проектирование установки с учетом всех необходимых параметров и требований.

Основными узлами разработанной технологии переработки изгари являются:

- узел подготовки шихты;
- узел разделения материала по крупности;
- узел плавки металлической фракции изгари;
- узел обжига окисленной фракции изгари;
- узел пыле-, газоочистки;
- узел готовой продукции.

Фундаментальной основой для разработки каждого из перечисленных узлов является основное оборудование, которое составляет ядро и требует детального обоснования для их выбора.

Узел подготовки шихты и разделения материала по крупности по целевому назначению можно объединить путем выбора одного агрегата, к примеру, шаровой мельницы. Это позволит упростить аппаратное оформление технологии и придать компактность технологии. В любом случае выбору технологического оборудования должны предшествовать технологические расчеты.

Результаты балансовых опытов, и технологические расчеты по отдельной переработке металлической и окисленной составляющей изгари позволяют сформулировать основные подходы и положения по выбору основного оборудования для их переработки. Учитывая, что основным показателем при выборе оборудования обычно проводят исходя из производительности перерабатываемого материала в основе должен лежать принцип оптимального соотношения материальных потоков, получаемых в процессе переработки. Это обеспечивает эффективное функционирование и максимизацию ресурсов в рамках данной технологии переработки изгари.

В процессе разработки технологии переработки изгари установлено, что выход металлической и окисленной составляющей изгари от общего веса изгари составляет 35 и 65%, соответственно. Это свидетельствует о том, что производительность оборудования, используемого для переработки окисленной составляющей должно быть намного больше, чем для переработки металлической ее составляющей. Данный аспект имеет важное значение при выборе основного оборудования для установки, так как он напрямую влияет на эффективность и эффективное использование ресурсов. Необходимо учитывать, что при переработке окисленной составляющей могут потребоваться процессы, требующие больших объемов обработки и времени, чтобы обеспечить высокую эффективность извлечения ценных компонентов. следовательно, правильный выбор оборудования и оптимальное соотношение его производительности с соответствующими технологическими расчетами являются ключевыми факторами в успешной реализации данной технологии переработки изгари. Это позволит не только максимизировать извлечение ценных компонентов из изгари, но и снизить операционные расходы и повысить общую эффективность процесса.

Для выбора основного оборудования для переработки изгари важным и принципиальным представляется установление баланса материальных потоков. Общая схема материальных потоков (на 100 т исходного материала), построенная на основании результатов балансовых опытов и технологических расчетов [22], показана на рисунке 1.



Рисунок 1. Общая схема материальных потоков при переработке изгари

С учетом установленных параметров рекомендуется выбор следующего стандартного основного оборудования для переработки изгари с удельной производительностью 100 т/ч.

Для измельчения исходного материала рекомендуется использование шаровой мельницы с центральной разгрузкой Ф3200×4500, 800 КВТ, с удельной производительностью 29-140 т/ч. Общий вид мельницы приведен на рисунке 2.



Рисунок 2. Шаровая мельница для измельчения

Полученный продукт после измельчения должен быть подвергнут грохочению с целью разделения окисленной части изгари от металлической части. Разделение окисленной части изгари от металлической части происходит за счет разности удельных весов частиц (крупность) [21]. Для разделения продуктов рекомендуется использование вибрационного грохота модели ЗУК1860, общий вид которого показан на рисунке 3.



Рисунок 3. Вибрационный грохот

Основные характеристики стандартного грохота: удельная производительность 32-350 т/ч, мощность 18.5 кВт, общий вес – 7613 кг.

Для обжига окисленной составляющей изгари можно применить вращающуюся трубчатую печь, со следующими характеристиками (таблица 3).

Таблица 3. Основные характеристики трубчатой печи

Модель	Ø3.0*45
Диаметр (мм)	3
Длина (мм)	45
Производительность (т/ч)	12.8-14.5
Число оборотов (об/мин)	0.5-2.47
Двигателя (кВт)	75
Вес (т)	210.94

Общий вид печи показан на рисунке 4.

Полученные в результате обжига возгоны поступают на дальнейшую переработку для извлечения цветных металлов.

Плавку металлической части изгари наиболее эффективно проводить в электропечах (Electric Arc Furnace), обеспечивающих низкую степень пылевыноса и высокую автоматизацию процесса [23]. Для реализации технологии выбрана электропечь, основные характеристики которой приведены в таблице 4.

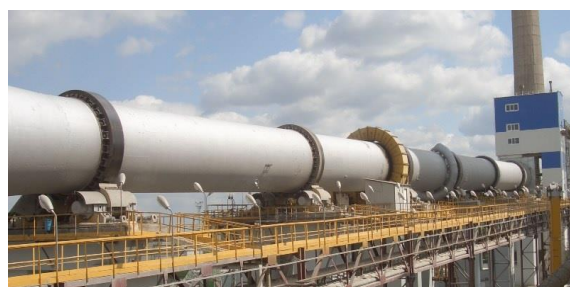


Рисунок 4. Вращающаяся трубчатая печь

Таблица 4. Основные характеристики электропечи

Напряжение питания, V	380-3400
Вес, т	0.3-32
Энергопотребление, кВт	100-10000
Максимальная температура, °C	2300
Емкость, т	От 10 до 100

Общий вид печи показан на рисунке 5.



Рисунок 5. Общий вид электродуговой печи

Продуктами плавки являются металлический цинк, возгоны хлорида свинца и газы. Возгоны и газы поступают на унифицированные горизонтальные электрофильтры (УГ), где происходит их разделение путем улавливания возгонов. Установки относятся к горизонтальному виду оборудования. Очистка электродов происходит сухим методом. Применяют агрегат при температурах газа до 250 градусов. Унифицированные горизонтальные (УГ) агрегаты являются наиболее востребованными в различных отраслях. Степень очистки газов составляет 99%. Возгоны хлорида свинца направляются на дальнейшую переработку, а газы – на нейтрализацию. Для комплексной переработки изгари рекомендуются следующие оптимальные технологические параметры процессов, составляющих основу общей технологии (таблица 5).

Использование разработанной технологии комплексной переработки изгари позволит стимулировать развитие цинкового производства республики за счет вовлечения в переработку в качестве дополнительного источника сырья изгари. Утилизация изгари с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью освободит занимаемые ими большие территории земли. Использование дешевых хлорирующих реагентов (CaCl_2 , NH_4Cl), исключение образования дополнительных твердых и/или жидких отходов, расширение ассортимента товарной продукции снизит издержки производства горячего оцинкования изделий. Значительно уменьшатся объемы накопленной изгари и сократятся энерго- и материальные затраты, расходуемые на ее складирование и хранение.

Таблица 5. Оптимальные технологические параметры и режимы технологии

№	Технологические параметры и режимы	Значения
1	Дробление, измельчение, ситовой анализ - Металлическая фракция - Окисленная фракция	+10 меш; -10 +18 меш; -18 +35 меш; -35 меш
2	Плавка металлической фракции - Температура, °С - Продолжительность, мин - Расход NH ₄ Cl, % от веса исходной навески	450 60 2
3	Обжиг окисленной фракции - Температура, °С - Продолжительность, мин Хлорирующий реагент, смесь NH ₄ Cl+CaCl ₂ - Расход NH ₄ Cl, % от веса исходной навески - Расход CaCl ₂ , % от веса исходной навески	1000 60 7 3

Разработанная технология легко интегрируется в действующие производства горячего оцинкования изделий и может быть использована для переработки накопленных и текущих объемов получаемой изгари. Кроме того, дальнейшее расширение границ разработанной технологии делает ее привлекательной и для комплексной переработки цинксодержащих отходов. Это открывает новые перспективы в области устойчивого использования ресурсов и содействует более ответственному подходу к обращению с химическими отходами в различных индустриях. Таким образом, разработанная технология не только повышает эффективность производства и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду, но также способствует развитию более устойчивых и экологически ответственных производственных практик, что важно в современном мире, где устойчивость и экологическая безопасность имеют приоритетное значение.

По предварительным расчетам для удельной производительности переработки изгари 100 т/сутки экономический эффект, с учетом себестоимости 1 т Zn и 1 т ZnO, составит: 112 000 \$ США. При этом годовой экономический эффект будет: 37.632.000 \$ США. В расчетах принята средневзвешенная цена на цинк 2735 \$ США/т (LME), и минимальная цена оксида цинка 1500 \$ США/т, (<https://russian.alibaba.com/product>).

4. Выводы

На основании результатов предварительных балансовых опытов по плавке металлической составляющей изгари и обжига неметаллической части совместно с хлоридом кальция и аммония проведены технологические расчеты по переработке изгари с удельной производительностью 100 т/ч.

Выданы рекомендации по промышленному освоению технологии, описаны основные узлы и блоки технологии.

Для оценки полученных результатов и выбора основного оборудования предложена общая схема переработки изгари с установлением материальных потоков, которые послужили основой для окончательного выбора оборудования.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки Технологического регламента и ТЭО технологии переработки изгари, применительно к материалу различного состава и производительности.

Финансирование

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан на 2021-2023 годы по приоритетному направлению «Рациональное использование водных ресурсов, животного и растительного мира, экология» проекта № AP09058297 «Разработка новой безотходной технологии утилизации отходов горячего оцинкования с комплексным извлечением ценных компонентов».

Литература / References

- [1] Najiba, S. (2009). Recovery of Zinc from Ash of Galvanizing Plant by Hydrometallurgical Route. *Bangladesh University of Engineering and Technology. The thesis of Master of Science in Materials and Metallurgical Engineering Department*
- [2] Yagubova, V.L., Chumaevskij, O.V. (1998). Sposob polucheniya nitrata cinka. *Patent RF § 96111199/25*
- [3] Barhatov, V.I., Dobrovolskij, I.P., Kapkaev, Yu.Sh. & Kostyunin, S.V. (2017). Sposob pererabotki othodov, sodержashchih tyazhelye cvetnye metally. *Patent RF § 2016108776*
- [4] Hansel, G. (1982). Thick and irregular galvanized coatings // *Proc. 13 Int Galvanizing conf. London. Zinc Dev Association London*
- [5] Benyakovskij, M.A., Grinberg, D.L. (1973). Proizvodstvo ocinkovannogo lista. *M: Metallurgiya*
- [6] Kazancev, G.F., Barbin, N.M., Moiseev, G.K. & Vatolin, N.A. (2000). Sposob pererabotki othodov cinka. *Patent RF § 99107789/02*
- [7] Chernov, P.P., Koryshev, A.N., Larin, Yu.I. i dr. (2002). Sposob polucheniya cinka iz cinkovogo drossa. *Patent RF § 2001109810/02*
- [8] Yudin, R.A., Vinogradov, A.V., Kovryakov, S.V., Sudakov, E.A. & Yanichev, A.N. (2009). Ustanovka i sposob izvlecheniya cinka iz izgari cinka. *Patent RF § 2008102795/02*
- [9] Kodochigov, B.N. (2006). Sposob pererabotki izgari cinka. *Patent RF § 2267546*
- [10] Tarasov, A.V. (1989). Pererabotka othodov goryachego cinkovaniya. *Stal', (6), 57-58*
- [11] Saramak, D., Krawczykowski, D. & Gawenda, T. (2018). Investigations of zinc recovery from metallurgical waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 427(1)*
- [12] Trpcevska, J. (2018). Leaching of Zinc Ash with Hydrochloric Acid Solutions. *Polish Journal of Environmental Studies, 27(4), 1785-1771*
- [13] Stubbe, G., Hillmann, C. & Wolf, C. (2016). Zinc and Iron Recovery from Filter Dust by Melt Bath Injection into an Induction Furnace. *Erzmetall, 69(3), 5-12*
- [14] Konstantinov, V.M., Gegenya, D.V. & Bogdanchik, M.I. (2014). Obzor rynka cinka i cinkovyh othodov. *Litejnye process: MGTU*
- [15] Takáčová, Z., Hluchánová, B. & Trpcevska, J. (2010). Leaching of zinc from zinc ash originating from hot-dip galvanizing. *Metall, 64(12), 517-519*
- [16] Wang, H., Feng, Y., Li, H. & Kang, J. (2019). The separation of gold and vanadium in carbonaceous gold ore by one-step roasting method. *Powder Technol., 355, 191-196*
- [17] Wang, H., Feng, Y., Li, H. & Kang, J. (2020). Simultaneous extraction of gold and zinc from refractory carbonaceous gold ore by chlorination roasting process. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 30(4), 1111-1121*
- [18] Guo, X., Zhang, B., Wang, Q., Li, Z. & Tian, Q. (2021). Recovery of Zinc and Lead from Copper Smelting Slags by Chlorination Roasting. *JOM, (73), 1861-1870*
- [19] Bai, S., Bi, Y., Ding, Z., Li, C. & Wen, S. (2020). Innovative methodology for the utilization of low-grade pyrite cinder containing heavy metals via hydrothermal alkali melting followed by chlorination roasting. *J. Alloys Compd., 840, 155722*

- [20] Qin, H., Guo, X., Tian, Q. & Zhang, L. (2020). Pyrite enhanced chlorination roasting and its efficacy in gold and silver recovery from gold tailing. *Separation and Purification Technology*, 250, 117168
- [21] Dosmukhamedov, N.K., Kaplan, A., Zholdasbay, E., Koishina, G., Tazhiev, Ye., Argyn, A., Kuldeyev, Ye. & Kaplan, V. (2021). Processing of dross of hot-dip galvanizing by chlorinating roasting. *Sustainability*, (13), 12530. <https://doi.org/10.3390/su132212530>
- [22] Zholdasbay, E.E., Kojshina, G.M., Tazhiev, E.B., Dosmukhamedov, N.K. & Icheva, Yu.B. (2022). Technological experiments on the processing of dross with the production of commercial products. *Vestnik KazNITU*, 144(1), 11-16. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i1.02>
- [23] Vanyukov, A.V., Utkink N.I. (1988). Kompleksnaya pererabotka mednogo i nikelovogo syr'ya. Ucheb. dlya vuzov po spec. "Metallurgiya cv. metallov". *Chelyabinsk: Metallurgiya*

Күйіндіні кешенді қайта өңдеу үшін технологиялық жабдықтарды таңдау

Г.М. Қойшина^{1*}, Е.Б. Тажиев¹, А.А. Арғын¹, А.В. Каплан²

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Arvak Tech Ltd, Реховот, Израиль

*Корреспонденция үшін автор: gulzik_84@mail.ru

Андатпа. Жұмыста тауарлық өнімдерді ала отырып, күйінділерді қайта өңдеу әдістеріне талдау жүргізілді. Соңғы жылдары пирометаллургиялық әдістермен қатар гидрометаллургиялық әдістер де дами бастады. Авторлар тауарлық өнім алуға бағытталған мырыштау қалдықтарын өңдеудің жаңа қалдықсыз технологиясын ұсынады. Жұмыста тауарлық өнімдерді ала отырып, мырыштау қалдықтары күйіндіні қайта өңдеудің жаңа, аралас, қалдықсыз технологиясының технологиялық схемасы құрылды. Тәулігіне 100 тонна меншікті өнімділікке күйіндіні қайта өңдеу бойынша технологиялық есептеулер жүргізілді, ірілендірілген қондырғыны жобалау және технологияны пайдалану бойынша ұсыныстар жасалды. Технологиялық есептеулер оңтайлы параметрлер мен технология режимдерін ескеретін арнайы әзірленген бағдарлама арқылы жүргізілді. Бұл авторларға күйіндіні өңдеу процесінің нақты деректері мен бағалауларын алуға, сондай-ақ қондырғы жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Күйіндіні кешенді қайта өңдеудің әзірленген технологиясын пайдалану, шикізаттың қосымша көзі ретінде күйіндіні қайта өңдеу есебінен республиканың мырыш өндірісін дамытуды ынталандыруға мүмкіндік береді. Құны жоғары тауарлық өнімдерді алу үшін күйіндіні қайта өңдеу, олар жинақталып жатқан үлкен жер аумақтарын босатады. Жалпы, мақала күйіндіні қайта өңдеу мәселелерін шешуде, мырыш өнеркәсібінің өсуін ынталандыруда және күйіндінің жинақталуының қоршаған ортаға әсерін азайту бағытында жаңа технологияның маңыздылығын көрсетеді.

Негізгі сөздер: күйінді, қайта өңдеу, технологиялық есептеулер, технология, технологиялық схема, тауарлық өнімдер.

Выбор технологического оборудования для комплексной переработки изгари

Г.М. Койшина^{1*}, Е.Б. Тажиев¹, А.А. Арғын¹, А.В. Каплан²

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Arvak Tech Ltd, Реховот, Израиль

*Автор для корреспонденции: gulzik_84@mail.ru

Аннотация. В работе проведен анализ различных методов переработки изгари с получением товарных продуктов. В последние годы, наряду с пирометаллургическими способами, начинают развиваться и гидрометаллургические способы. Авторы представляют новую безотходную технологию переработки отходов цинкования, направленную на получение товарной продукции. В работе построена подробная технологическая схема новой, комбинированной, безотходной технологии переработки отходов цинкования с получением товарных продуктов. Проведены технологические расчеты по переработке изгари на удельную производительность 100 т/сутки, выданы рекомендации по проектированию укрупненной установки и по эксплуатации технологии. Технологические расчеты были проведены с использованием специально разработанной программы, которая учитывает оптимальные параметры и режимы технологии. Это позволяет авторам получить точные данные и оценки процесса переработки изгари, а также оптимизировать работу установки. Использование разработанной технологии комплексной переработки изгари позволит стимулировать развитие цинкового производства республики за счет вовлечения в переработку изгари в качестве дополнительного источника сырья. Утилизация изгари с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью освободит занимаемые ими большие территории земли. В целом в статье подчеркивается потенциал но-

вой технологии в решении проблем переработки изгари, стимулировании роста цинковой промышленности и снижении воздействия накопления окалина на окружающую среду.

Ключевые слова: *изгарь, переработка, технологические расчеты, технология, технологическая схема, товарные продукты.*

Received: 13 July 2023

Accepted: 16 October 2023

Available online: 31 October 2023