

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i1.02>

Technological experiments on the processing of dross with the production of commercial products

E.E. Zholdasbay^{1*}, G.M. Koishina¹, E.B. Tazhiev¹, N.K. Dosmukhamedov¹, Yu.B. Icheva²

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov, Zhezkazgan, Kazakhstan

*Corresponding author: zhte@mail.ru

Abstract. The increase in the production of hot-dip galvanizing products is accompanied not only by an increase in the yield of dross, but also by its accumulation, due to the lack of rational processing technology. In this paper, the results of balance experiments on the processing of metal and oxidized fractions previously isolated from dross are presented. The effect of the consumption of such chlorinating reagents as CaCl_2 and NH_4Cl is studied in this work. The obtained results fully confirmed the previously obtained data established in the conditions of laboratory studies. It is shown that the melting of the metal fraction of dross at $T = 450^\circ\text{C}$ for 60 minutes with the addition of 2% NH_4Cl from the weight of the initial sample ensures the production of a pure zinc ingot that practically does not contain impurity metals. Under the conditions of burning the oxidized component with the addition of 6% CaCl_2 from the weight of the initial sample, the maximum removal of lead from the cinder was achieved from 0.35 to 0.002%. At the same time, it is not possible to achieve a decrease in the iron content in the stub. Its final content in the cinder is 0.25%. Under the conditions of burning the oxidized component of dross together with NH_4Cl , at its optimal consumption equal to 15% of the weight of the initial sample, high-quality zinc oxide was obtained, suitable for its use as a mineral additive in animal and bird feed. Extraction of metals-impurities in the sublimates the conditions of burning at $T = 1000^\circ\text{C}$ and the duration 60 min, was, %: Cu, Ni, Fe -75%; Pb, Cd - 98%.

Keywords: dross, the metal fraction, the oxidized fraction, melting, burning, zinc, zinc oxide, impurities, balance experiments.

1. Введение

Мировое производство цинка демонстрирует небольшой рост. Сегодня его потребление достигает 14 млн. тонн в год [1,2]. Основные направления использования цинка включают процессы оцинкования изделий. В мировом потреблении цинка 50% составляет горячее оцинкование стали [3].

Цинковое покрытие имеет хороший внешний вид и позволяет увеличить срок службы изделий в 2-3 раза, надежно защищая их от атмосферной, водной и других видов коррозии. На процесс горячего цинкования со стороны исследователей обращается недостаточное внимание, хотя здесь имеются большие резервы, носящие проблемный характер. Среди назревших проблем необходимость стабилизации качества покрытия и повышение эффективности производства, совершенствование технологического процесса горячего оцинкования, утилизация большого количества ценных промышленных отходов (изгари).

В настоящее время на практике широко используются пирометаллургические способы переработки изгари с получением металлического цинка [4,5,6]. В последние годы развиваются гидromеталлургические способы [2,3].

Проведенный нами SWOT-анализ известных работ [7] по переработке изгари показал, что они обладают рядом недостатков и вряд ли могут быть использованы в про-

мышленном масштабе. Это вызывает необходимость изыскания новых высокоэффективных технологий переработки изгари.

Большой интерес для переработки изгари представляет использование технологии хлорирования металлов, основанные на таких характеристиках хлоридов металлов как низкая температура их плавления, высокая летучесть и растворимость в воде, что позволяет восстанавливать ценные металлы из различных отходов в виде их хлоридов [8,9]. 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 [8,9,10]. На практике в качестве хлорирующих реагентов используются газообразный хлор, хлористый водород и хлориды щелочных металлов. Широкое распространение среди них получили CaCl_2 и NH_4Cl , обладающие высокой способностью хлорирования металлов и имеющие довольно низкую стоимость.

В работе [11] на основании термодинамического анализа поведения металлов-примесей в условиях обжига изгари совместно с хлорирующими реагентами (CaCl_2 , NH_4Cl) показана принципиальная возможность получения оксида цинка высокого качества. Результатами термодинамических расчетов установлена высокая вероятность протекание реакций взаимодействия Pb, Fe, Cu, Ni, Cd с CaCl_2 и NH_4Cl и их возгонки в виде хлоридов. Проведен-

ные предварительные исследования обжига окисленной составляющей изгари совместно с CaCl_2 и NH_4Cl позволили получить чистый оксид цинка, пригодный для использования его в качестве минеральной добавки в корм для животных и птиц [12]. Настоящая работа является продолжением начатых нами работ и направлена на получение новых данных по установлению оптимальных параметров разрабатываемой технологии переработки изгари.

Цель настоящей работы – проведение балансовых опытов по переработке предварительно выделенной из изгари металлической и окисленной составляющей в укрупнено-лабораторном масштабе и оценка качества получаемых товарных продуктов – металлического цинка и чистого оксида цинка, пригодного для использования в виде минеральной добавки в корм для животных и птиц.

2. Методы исследования

Подготовка образцов к химическому анализу проводилась следующим образом: 10 мг материала растворяли в 65% (об.) азотной кислоте, после чего проводили анализ. Состав материала характеризовали с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра с графитовой камерой сгорания (Perkin Elmer 5100).

Порошковая дифракция рентгеновских лучей (XRD) выполнялась на дифрактометре Ultima III (Rigaku Corporation, Япония) с количественным фазовым анализом с использованием программного обеспечения Jade_10 (MDI, Cal.) и базы данных ICSD.

Энергодисперсионная рентгеновская флуоресцентная спектроскопия проводилась с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM) LEO Supra.

Каждая полученная после опытов проба подвергалась элементному составу на содержание металлов-примесей в ней дважды. Конечный элементный состав определяли исходя из среднего значения, полученного по результатам двух независимых измерений путем химического анализа.

3. Результаты и обсуждение

Усредненная навеска изгари в количестве 800 г была измельчена на дробилке Cutting Mill SM 300 и рассеяна на ситах на 4 класса: +10 меш; -10 +18 меш; -18 +35 меш и -35 меш. Выход окисленной фракции (-35 меш) от общего количества изгари (800 г) составил 65% или 529 г. Общий выход металлической фракции, представляющей остальные три класса – 271 г.

Результаты химического анализа содержания металлов-примесей в продуктах ситового анализа изгари приведены в таблице 1.

Таблица 1. Содержания металлов-примесей в металлической и окисленной фракции изгари

Продукты	Содержание металлов-примесей, % масс.				
	Pb	Fe	Ni	Cu	Cd
Металлическая фракция	0,8	0,22	0,18	0,15	0,005
Окисленная фракция	0,34	0,54	0,3	0,06	0,002

3.1. Плавка металлической фракции изгари

Плавку металлической фракции проводили совместно с NH_4Cl с его расходом 2% от веса исходной навески на установке, схема которой показана на рисунке 1.

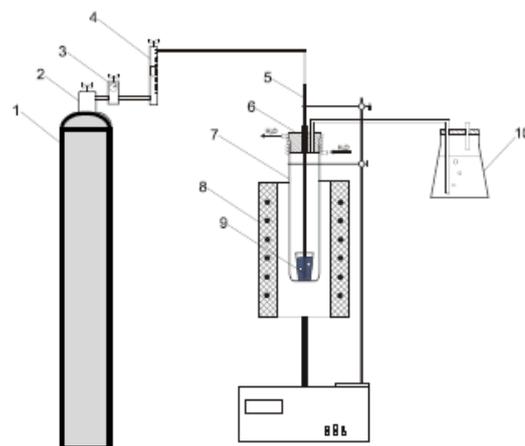


Рисунок 1. Общая схема установки для плавки металлической фракции изгари: 1 – баллон с воздухом; 2 – газовый вентиль; 3 – газовый редутор; 4 – ротаметр РМ-ГС/0,04; 5 – алундовая трубка для подачи газа; 6 – пробка с водяным охлаждением; 7 – кварцевый реактор; 8 – печь Nabertherm RT 50-250/13; 9 – тигель с навеской; 10 – сосуд для поглощения газов

Методика проведенных опытов заключалась в следующем. В алундовый тигель загружали исходную навеску, состоящую из металлической фракции изгари и хлорирующего реагента. Далее тигель с навеской (9) загружали в кварцевый реактор (7), который помещали в электропечь (8). Кварцевый реактор затыкался резиновой пробкой (6), снабженной двумя отверстиями: один – для подачи воздушного дутья, второй – для отвода отходящих газов из зоны реакции. С момента включения печи открывался газовый вентиль (2) и редутор (3) баллона с воздухом (1). Далее через алундовую трубочку диаметром 6 мм (5) начиналась подача воздуха в кварцевый реактор с постоянным его расходом 100 мл/мин. Контроль расхода кислорода осуществляли с помощью ротаметра РМ-ГС/0.04 (4). Отходящие газы улавливали в специальном сосуде поглощения (10).

Количество исходной навески - 200 г. Температура плавки, $T = 450^\circ\text{C}$, продолжительность, $\tau = 60$ мин. В результате плавки получен слиток цинка.

Результаты SEM и EDS-анализа полученного слитка (рисунок 2) показали наличие в нем исключительно металлического цинка, что подтверждает высокое его качество.

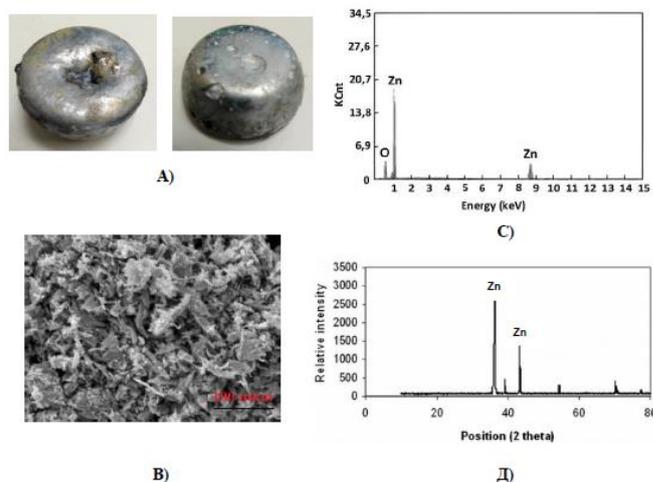


Рисунок 2. Результаты SEM (B), EDS (C) и XRD-анализа (D) слитка металлического цинка (A)

3.2. Балансовые опыты обжига окисленной фракции изгари

Схема установки для проведения балансовых опытов по изучению влияния расхода хлорирующих реагентов (CaCl_2 , NH_4Cl) на качество оксида цинка показана на рисунке 3.

Опыты проведены по следующей методике. Окисленная фракция изгари в количестве 200 г смешивалась с заданным расходом хлорида кальция и/или хлорида аммония в различных массовых соотношениях. Исходную смесь шихты выдерживали в тигле из оксида алюминия внутри печи при заданной температуре в потоке воздуха, который подавали со скоростью 100 мл/мин. Отходящие газы из печи поглощались в сосуде для абсорбции газа. После отстаивания и охлаждения в потоке воздуха тигель вынимали из печи и разбивали.

Конечный продукт (огарок) взвешивали и анализировали на содержание в нем металлов-примесей в соответствии с методами, описанными выше.

В балансовых опытах изучено влияние расхода каждого отдельно взятого хлорирующего реагента (CaCl_2 , NH_4Cl) на степень возгонки примесей. Во всех опытах температура была постоянной и составляла 1000°C , продолжительность обжига - 60 минут.

Для каждого опыта с заданным расходом хлорирующих реагентов (CaCl_2 , NH_4Cl) составлялся материальный баланс, что позволило оценить уровень извлечения каждого металла-примеси в зависимости от расхода CaCl_2 и NH_4Cl .

Расчет материального баланса проводили с учетом загруженных и полученных в конденсированной фазе продуктов. Количество выделяемой пыли и газа в каждом опыте вычисляли по их разнице.

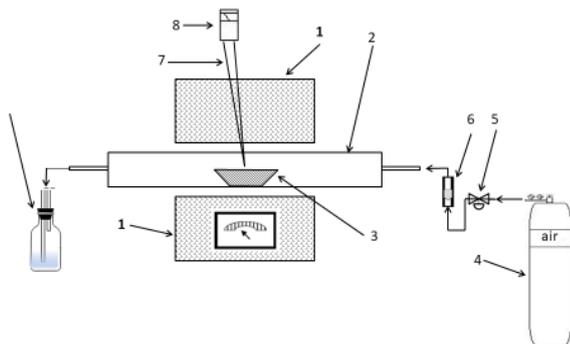


Рисунок 3. Схема лабораторной установки для обжига окисленной фракции изгари: 1 – электропечь Nabertherm 50/250/12 с терморегулируемым контроллером В410; 2 – кварцевый реактор; 3 – алундовая лодочка с навеской; 4 – баллон с воздухом; 5 – кран; 6 – ротаметр РМ-ГС/0,04; 7 – термопара ПП-1; 8 – вторичный прибор КСП-4; 9 – сосуд для поглощения газов

Зависимость содержания металлов-примесей в огарке от расхода CaCl_2 представлена на рисунке 4.

Сравнительный анализ результатов, приведенный на рисунке 4, показывает, что увеличение расхода как CaCl_2 , так и NH_4Cl , оказывает сильное влияние на снижение содержания всех металлов-примесей в конечном продукте (огарке).

В случае проведения обжига окисленной фракции изгари совместно с CaCl_2 , влияние расхода CaCl_2 на содержание железа незначительно (рисунок 4). В интервале расхода CaCl_2 от 6 до 37% от веса исходного материала содержание железа в огарке снижается незначительно – от 0.3 до 0.2%. При этом содержание свинца и других металлов-примесей показывает резкое их снижение уже при малых расходах CaCl_2 . Как видно на рис.4, добавление CaCl_2 к исходной навеске в количестве 6% от ее веса обеспечивает минимальное содержание свинца 0.002% в конечном огарке. Дальнейший рост расхода CaCl_2 влияния на снижение содержания свинца в огарке не оказывает. Данная тенденция характерна и для меди, никеля и кадмия: расход $\text{CaCl}_2 = 6\%$ от веса исходной навески обеспечивает минимальные содержания меди, никеля и кадмия в огарке, которые остаются практически на одном уровне, независимо от дальнейшего роста расхода CaCl_2 . Это свидетельствует о получении оксида цинка, пригодного для использования в качестве минеральной добавки в корм для животных и птиц.

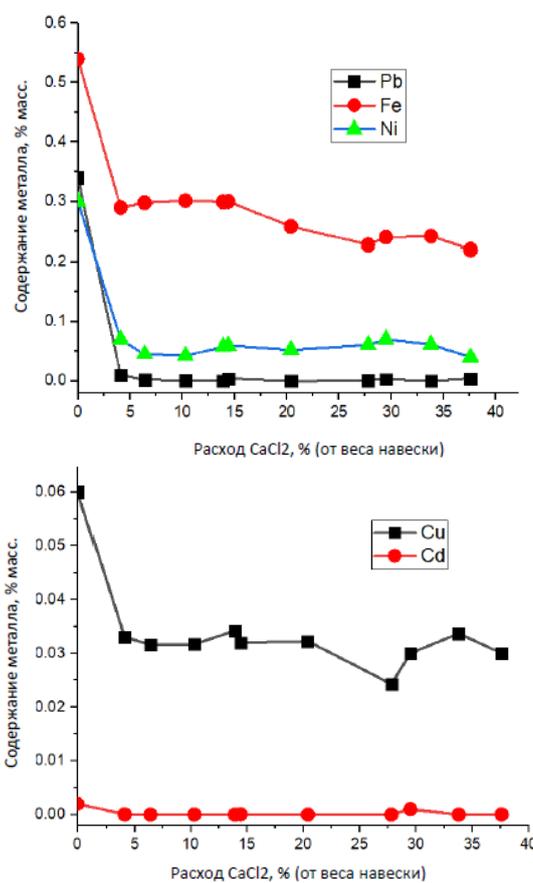


Рисунок 4. Зависимость содержания металлов-примесей от расхода CaCl_2

Проведение обжига окисленной фракции изгари с добавлением NH_4Cl обеспечивает минимальное до 0.15% содержание железа в конечном огарке, что нетрудно видеть на рисунке 5.

При этом общий характер кривой зависимости содержания Cu , Ni и Cd от расхода NH_4Cl (в диапазоне изменения расхода от 5 до 37% от веса исходного материала), повторяет ход кривой аналогичной зависимости, установленной для металлов-примесей в случае обжига с использованием CaCl_2 (рисунок 4).

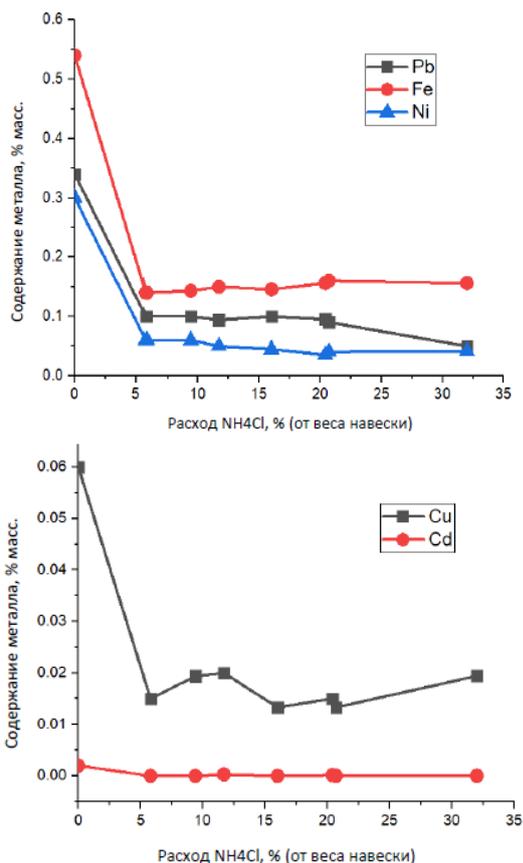


Рисунок 5. Зависимость содержания металлов-примесей от расхода NH_4Cl

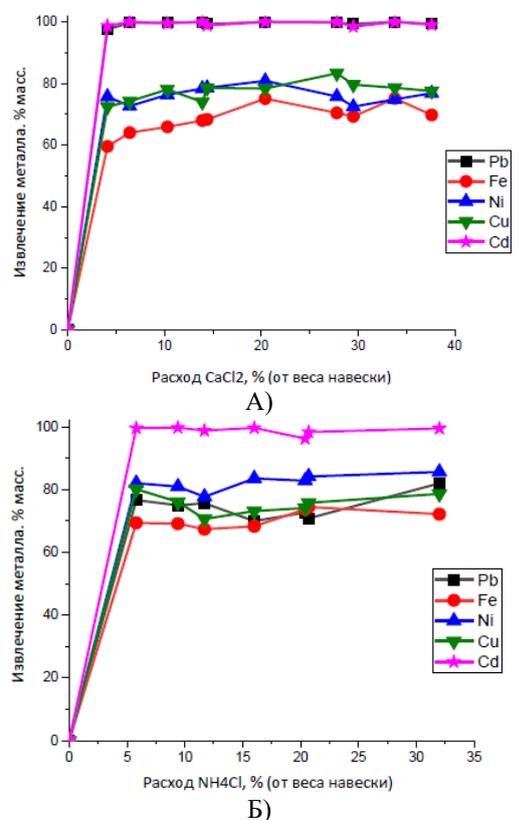


Рисунок 6. Зависимость извлечения металлов-примесей в возгоны от расхода $CaCl_2$ (А) и NH_4Cl (Б)

На рисунке 5 видно, что при малых расходах NH_4Cl до 5% от веса исходной навески, хотя и достигается резкое снижение содержания свинца с 0.55 до 0.12%, дальнейший рост NH_4Cl в интервале от 5 до 20% от веса исходной навески, существенного влияния на снижение содержания свинца в огарке не оказывает. Установлено, что оптимальный расход NH_4Cl , обеспечивающий одновременное минимальное значение всех металлов-примесей, соответствует расходу NH_4Cl ~ 15% от веса исходного материала. При этом достигается минимальное содержание свинца (0.1%) в конечном огарке.

На рисунке 6 показана зависимость расчетных значений извлечения металлов-примесей в возгоны от расхода $CaCl_2$ и NH_4Cl , построенная на основании результатов материальных балансов каждого опыта.

Степень удаления меди, никеля и железа в условиях обжига окисленной фракции изгари совместно с $CaCl_2$ составила 70-75%, а свинца и кадмия 90-98% от их исходного количества в изгари (рисунок 6, А). Огарок, полученный после обжига, практически не содержит свинца (0.002%), и может быть использован в качестве минеральной добавки в корм для животных и птиц.

Сравнительный анализ результатов обжига с добавлением хлорида аммония также показывает снижение содержания всех металлов в огарке, полученном после обжига. При этом влияние количества добавляемого NH_4Cl на остаточное содержание свинца выше, чем при добавлении $CaCl_2$. Видимо, это связано с тем, что хлористый аммоний начинает разлагаться при низких температурах (338°C) с образованием NH_3 и HCl , которые в виде газов выносятся из печи. До выхода печи на заданную температуру (1000°C), в зоне низких температур печи наблюдается снижение реакции хлорирования, которые замедляются и протекают не полностью. Наблюдаемый на рисунке 5 рост перехода свинца в хлорид, можно связать с протеканием реакции взаимодействия его соединений с хлоридом цинка, образующегося в результате взаимодействия оксида цинка с NH_4Cl . Это приводит к резкому повышению степени возгонки свинца в виде его хлорида, что и наблюдается на рисунке 6 (Б). Извлечение свинца в возгоны составило 80% от его исходного количества в изгари.

Таким образом, полученные результаты полностью подтверждают возможность организации комплексной безотходной технологии переработки изгари с получением чистого цинка в виде металла и чистого его оксида, пригодного для использования в качестве минеральной добавки в корм для животных и птиц. В качестве хлорирующего реагента для создания благоприятных условий для полного удаления примесей более предпочтительным представляется использование NH_4Cl в количестве: при плавке металлической фракции - 2% от веса исходной навески, а при обжиге окисленной составляющей - в количестве 15% от веса исходной навески.

4. Выводы

1. Проведены балансовые опыты по переработке, предварительно выделенной из изгари, металлической и окисленной фракции совместно с хлорирующими реагентами $CaCl_2$ и NH_4Cl . Полученные результаты полностью подтвердили данные, установленные в условиях лабораторных исследований.

2. Показано, что плавка металлической фракции изгари при $T = 450^{\circ}\text{C}$ в течение 60 минут, с добавлением 2% NH_4Cl от веса исходной навески обеспечивает получение чистого слитка цинка, практически не содержащего металлы-примеси.

3. Установлено, что в условиях совместного обжига окисленной фракции изгари с расходом 6% CaCl_2 от ее веса достигается снижение содержания свинца до минимума с 0.35 до 0.002% в конечном огарке. При этом снижение содержания железа неудовлетворительное и составляет с 0.55 до 0.25%.

4. Наилучшие результаты по получению оксида цинка высокого качества достигнуты в условиях обжига окисленной составляющей изгари совместно с NH_4Cl . При оптимальном расходе NH_4Cl равном 15% от веса исходной навески получен оксид цинка, пригодный для использования его в качестве минеральной добавки в корм для животных и птиц. Достигнуто высокое извлечение металлов-примесей в возгоны, %: Cu, Ni, Fe - 75%; Pb, Cd - 98%.

Источник финансирования

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки 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] Saramak, D., Krawczykowski, D., Gawenda, T. (2018). Investigations of zinc recovery from metallurgical waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 427(1)
- [2] Trpcevska, J., Rudnik, E., Holkova, B., Laubertova, M. (2018). Leaching of Zinc Ash with Hydrochloric Acid Solutions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(4), 1765-1771. <https://doi.org/10.15244/pjoes/78039>
- [3] 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
- [4] Tarasov, A.V. (1989). Pererabotka othodov gorjachego cinkovanija. *Stal'*, 6, 57-58
- [5] Chernov, P.P., Koryshev, A.N., Larin, Ju.I. (2002). Sposob poluchenija cinka iz cinkovogo drossa. *Patent RF № 2001109810/02*
- [6] Judin, R.A., Vinogradov, A.V., Kovrjakov, S.V., Sudakov, Je.A., Janichev, A.N. (2009). Ustanovka i sposob izvlechenija cinka iz izgari cinka. *Patent RF № 2008102795/02*
- [7] Kojshina, G.M., Zholdasbay, E.E., Kurmanseitov, M.B., Tazhiev, E.B. (2021). Vybora i obosnovanie tehnologii kompleksnoj pererabotki izgari s polucheniem tovarnyh produktov. *KarGTU*, 3(84), S.87-93. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2021_3_87 (in Russ.)
- [8] Wang, H., Feng, Y., Li, H., Kang, J. (2020). Simultaneous extraction of gold and zinc from refractory carbonaceous gold ore by chlorination roasting process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 30(4), 1111. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(20\)65282-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(20)65282-7)
- [9] 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. <https://doi.org/10.1007/s11837-021-04680-4>
- [10] 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. *Journal of Alloys and Compounds*, 840, 155722. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155722>
- [11] Koishina, G.M., Zholdasbay, E.E., Kurmanseitov, M.B., Tazhiev, E.B., Argyn, A.A. (2021). Study on the behavior of zinc and associated metal-impurities in the process of chlorinating roasting of dross. *Complex Use of Mineral Resources*, 3(318), 71-80. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.30>
- [12] Dosmuhamedov, N.K., Kaplan, V.A., Zholdasbay, E.E., Kaplan, A.V. (2018). Sposob pererabotki izgari gorjachego ocinkovanija. *Patent KZ № 34231*

Тауарлық өнімдерді ала отырып, күйіндіні қайта өңдеу бойынша технологиялық тәжірибелер

Е.Е. Жолдасбай¹, Г.М. Қойшина¹, Е.Б. Тажиев¹, Н.Қ. Досмұхамедов¹, Ю.Б. Ичева²

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Ө.А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Жезқазған, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: zhte@mail.ru

Аңдатпа. Ыстықтай мырыштау өнімдерін өндірудің өсуі күйіндінің шығуының артуымен ғана емес, сонымен қатар қайта өңдеудің ұтымды технологиясының болмауына байланысты оның жинақталуымен жүреді. Бұл жұмыста күйіндіні алдын ала бөлуден алынған металл және тотыққан фракцияны қайта өңдеудің баланстық тәжірибелерінің нәтижелері келтірілген. Жұмыста CaCl_2 және NH_4Cl сияқты хлорлаушы реагенттер шығынының әсері зерттелген. Алынған нәтижелер бұрын зертханалық зерттеулер жағдайында алынған нәтижелерді толық растады. Бастапқы сынаманың салмағынан 2% NH_4Cl қосып, күйіндінің металдық фракциясын 60 минут ішінде $T = 450^{\circ}\text{C}$ кезінде балқытқанда құрамында металл-қоспалар жоқ таза мырыш құймасын алуға қол жеткізуді қамтамасыз ететіні көрсетілген. Бастапқы сынаманың салмағынан 6% CaCl_2 қоса отырып, күйіндінің тотыққан бөлігін күйдіру жағдайында қорғасынды күйіндіден максималды 0.35-тен 0.002%-ға дейін ұшыруға қол жеткізілді. Бұл жағдайда

күйіндідегі темірдің мөлшерін азайтуға қол жеткізу мүмкін емес. Оның күйіндідегі соңғы мөлшері 0.25% құрайды. NH_4Cl -мен бірге күйіндінің тотыққан бөлігін күйдіру жағдайында оның оңтайлы шығыны бастапқы сынама салмағының 15%-ына тең кезінде жоғары сапалы мырыш тотығы алынды, ол жануарлар мен құстарға арналған жемге минералды қоспа ретінде пайдалануға жарамды. $T = 1000^\circ\text{C}$ және жүру ұзақтығы 60 минут күйдіру жағдайында металл-қоспаларды шаңға ұшыру кезінде бөліп алу құрады: Cu, Ni, Fe - 75%; Pb, Cd - 98%.

Негізгі сөздер: күйінді, металдық фракция, тотыққан фракция, балқыту, күйдіру, мырыш, мырыш тотығы, қоспалар, баланстық тәжірибелер.

Технологические опыты по переработке изгари с получением товарных продуктов

Е.Е. Жолдасбай¹, Г.М. Койшина¹, Е.Б. Тажиев¹, Н.К. Досмухамедов¹, Ю.Б. Ичева²

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Жезказганский университет имени О.А. Байконурова, Жезказган, Казахстан

*Автор для корреспонденции: zhte@mail.ru

Аннотация. Рост производства горячего цинкования изделий сопровождается не только повышением выхода изгари, но и ее накоплением, ввиду отсутствия рациональной технологии переработки. В настоящей работе приведены результаты балансовых опытов переработки металлической и окисленной фракции, предварительно выделенной из изгари. В работе изучено влияние расхода таких хлорирующих реагентов как CaCl_2 и NH_4Cl . Полученные результаты полностью подтвердили ранее полученные данные, установленные в условиях лабораторных исследований. Показано, что плавка металлической фракции изгари при $T = 450^\circ\text{C}$ в течение 60 минут с добавлением 2% NH_4Cl от веса исходной навески обеспечивает достижение получения чистого слитка цинка, практически не содержащего металлы-примеси. В условиях обжига окисленной составляющей с добавлением 6% CaCl_2 от веса исходной навески достигнуто максимальное с 0.35 до 0.002% удаление свинца из огарка. При этом добиться снижения содержания железа в огарке не удастся. Конечное его содержание в огарке составляет 0.25%. В условиях обжига окисленной составляющей изгари совместно с NH_4Cl , при оптимальном его расходе равном 15 % от веса исходной навески получен оксид цинка высокого качества, пригодный для использования его в качестве минеральной добавки в корм для животных и птиц. Извлечение металлов-примесей в возгоны в условиях обжига при $T = 1000^\circ\text{C}$ и продолжительности 60 минут, составило, %: Cu, Ni, Fe - 75%; Pb, Cd - 98%.

Ключевые слова: изгарь, металлическая фракция, окисленная фракция, плавка, обжиг, цинк, оксид цинка, примеси, балансовые опыты.