

Обзорная статья

К. т. н. **А. С. Колесников**¹ (✉), к. т. н. **Б. Е. Серикбаев**¹, к. т. н. **А. Л. Золкин**²,
к. т. н. **Г. С. Кенжибаева**¹, PhD **Г. И. Исаев**³, PhD **Н. Е. Ботабаев**¹,
PhD **Ш. К. Шапалов**¹, **О. Г. Колесникова**¹, к. т. н. **Г. М. Изтлеуов**¹,
к. т. н. **А. Ж. Суйгенбаева**¹, к. т. н. **А. Н. Кутжанова**⁴, к. т. н. **Д. Д. Асылбекова**¹,
к. т. н. **Х. А. Аширбаев**¹, к. т. н. **О. З. Альчинбаева**³, **В. А. Колесникова**¹

¹ Южно-Казахстанский университет имени М. О. Ауэзова,
г. Шымкент, Республика Казахстан

² Поволжский государственный университет телекоммуникаций
и информатики, г. Самара, Россия

³ Международный Казахско-Турецкий университет
имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Республика Казахстан

⁴ Алматинский технологический университет, г. Алматы,
Республика Казахстан

УДК 669.054.82:628.477.6(574)

ПЕРЕРАБОТКА ОТВАЛЬНОГО ШЛАКА ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ С ЦЕЛЮ ЕГО КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Приведен обзор по методам переработки шлака от вельцевания, рассмотрены разные подходы и попытки ученых ряда стран, направленные на переработку таких шлаков. Установлено, что из огромного числа приведенных методов переработки шлаков от вельцевания нет ни одного, обладающего достаточной комплексностью его переработки. Кроме того, находящиеся в отвалах шлаки от вельцевания в настоящее время так и не нашли применения в качестве вторичного сырья. Определен элементный химический состав шлака от вельцевания, который представлен соединениями кальция, кремния, железа, алюминия, а также углеродом и тяжелыми цветными металлами в виде цинка и свинца. Таким образом, установлено, что эти шлаки на протяжении многих лет продолжают загрязнять окружающую среду.

Ключевые слова: техногенные отходы, отвалы шлака от вельцевания, железосодержащая добавка, портландцементный клинкер.

В современном мире ежегодно снижается содержание металлов в рудах, что обусловлено интенсивной добычей и переработкой богатых по содержанию руд разных металлов. При этом ежегодное количество отходов производства, содержащих как ценные металлы, так и другие полезные соединения, увеличивается [1]. Отходы, находящиеся в отвалах, содержат тяжелые цветные металлы, соединения кремния, кальция, алюминия, железа, негативно воздействуют на окружающую среду [2] и в то же время могут служить в качестве вторичного техногенного сырья. Так, в Казахстане в процессе извлечения цветных металлов на ряде предприятий начиная с 20-х годов прошлого столетия до настоящего времени образовалось значительное

количество отходов — шлаков от вельцевания, которые хранятся в отвалах, занимая плодородные земли и загрязняя окружающую среду. В этой связи рассмотрен мировой опыт методов комплексной переработки отвалов шлака от вельцевания.

При вельцевании природного и техногенного сырья (оксидные руды, кеки, шлаки) формируется клинкер, ценность которого зависит от типа перерабатываемого сырья. Так, клинкер, полученный из кеков цинкового производства, кроме 1–2 % Zn, 1–3 % Cu, 0,5–0,8 % Pb содержит значительное количество серебра и золота (300–600 г/т). В клинкерах, получаемых при вельцевании шлаков шахтной плавки свинцовых агломератов, содержатся Zn (0,9–1,0 %), Pb (0,1–0,3 %), Cu (0,5–1,0 %), благородные металлы. Клинкеры вельцевания ачисайских руд содержат небольшое количество меди, благородных металлов (следы), 0,6–0,7 % Zn, 0,1–0,2 % Pb. Все клинкеры содержат также Si (от 11 до 12 %), Fe (18–30 %) и C (от 18 до 24 %) [3].

Из-за разного состава клинкеров необходимо проведение анализа существующих методов



А. С. Колесников
E-mail: kas164@yandex.kz

переработки клинкеров. Методы переработки клинкеров условно делятся на два типа:

– комплексная переработка клинкера вельцевания цинксодержащих материалов с извлечением цветных и благородных металлов, углеродной составляющей с использованием железосодержащего материала и нерудных компонентов;

– использование клинкера вельцевания цинксодержащих материалов в качестве шихтовочного сырья в разных пирометаллургических технологиях.

В практике медного производства хорошо известен способ переработки клинкера с медно-цинковыми концентратами с применением агломерации и шахтной плавки. Введение в шихту 18–24 % клинкера приводит к получению бедных штейнов. Увеличение содержания клинкера в шихте агломерации до 29–34 % повышает температуру отходящих газов и осложняет работу турбоэксгаустеров [4]. Такой способ имеет еще один недостаток — «размазывание» Zn и Pb по продуктам переработки. Так, при переработке клинкера с медным концентратом на Карабашском медеплавильном заводе только 30 % Zn и 60 % Pb переходят в возгоны [3].

В промышленном масштабе были проведены испытания по переработке в КИВЦЭТном агрегате медно-цинковых концентратов и клинкеров текущего поступления и из отвалов, содержащих 2,24–5,76 % Cu, 0,68–1,66 % Pb, 0,8–1,38 % Zn, 16,2–27,7 % C, 26,56–30,48 % Fe, 5,45–6,06 % S, 14,1–15,01 % SiO₂ и 1,42–2,38 % CaO. При введении 10 % клинкера извлечение Cu в штейн составило 91,22 %. Цинковые возгоны содержали, %: Zn 72,18–72,96, Pb 4,75–5,11, Fe 1,3–1,38, (SiO₂ + CaO) 0,99–1,2, Cd 0,2–0,25, S 0,43–0,46. Процесс переработки проходил без каких-либо технологических отклонений с расходом электроэнергии на 1 т шихты 2411,3 кВт·ч. Однако, несмотря на это, остаточное содержание Zn в шлаках составило 9,46–10,68 %, Pb 0,28–0,43 % [5].

В АО «Балхашмедь» цинковый клинкер использовали взамен угля при плавке малосернистых концентратов в ПВ [6, 7]. Содержащиеся в клинкере элементное железо и углерод выполняют в жидкой фазе роль энергетических реагентов, которые при взаимодействии с кислородом выделяют тепло, необходимое для плавки. В присутствии клинкера уменьшается содержание Cu в шлаке, сокращается переокисление Zn. Замена угля на клинкер не приводит к технологическим осложнениям работы ПВ и способствует снижению температуры отходящих газов в котле-утилизаторе, газоотходах (за счет сокращения или полного отсутствия, догорания летучих составляющих угля).

Способ плавки клинкера [8] с подачей кислородсодержащего дутья на слой клинкера и в расплав в количестве, обеспечивающем пре-

имущественное окисление твердого углерода клинкера (в первом случае), и с подачей избыточного количества металлического железа клинкера для связывания серы клинкера и растворения в штейновой фазе (во втором случае) имеет следующие недостатки: незначительное тепловыделение в расплаве из-за окисления избыточного количества металлического железа клинкера, вызывающее необходимость использования сторонних источников тепла для поддержания ванны расплава в рабочем состоянии; принципиальное ограничение по максимальной степени обогащения получаемых штейнов по меди и невозможность получения из-за этого при переработке клинкера с содержанием меди менее 2,5 % (доля которого составляет более 50 % всего производимого и накопленного в отвалах) кондиционных штейнов, пригодных для индивидуального конвертирования. Последнее обстоятельство существенно ограничивает возможности промышленного использования этого способа.

Другой способ переработки клинкера цинкового производства [9], содержащего углерод и металлическое железо, включающий плавку клинкера при подаче окислительного дутья в расплав с получением жидких и газообразных продуктов плавки, также имеет недостатки: в частности, неудовлетворительную эксплуатационную надежность процесса плавки из-за высокой склонности ванны расплава к вспениванию, в результате чего возникают необратимые нарушения технологии вплоть до разрушения плавильного агрегата.

Клинкер завода «Укрцинк» был использован в качестве топливного агента при переработке бедных штейнов свинцовой плавки. В результате плавки шихты в шахтной печи были получены штейн с содержанием 14–16 % Cu и 9–10 % Pb и возгоны с содержанием 17–25 % Zn и 35 % Pb. Тем не менее в шлаках содержание Zn, Pb и Cu в сумме составило 2,5–2,9 % [10].

Разработана шихта для переработки цинксодержащих материалов плавкой с использованием клинкера вельцевания цинксодержащих материалов, включающая, мас. %: углеродистый восстановитель 5–9, оксид кальция 2–6, клинкер вельцевания 3–10, цинксодержащий материал — остальное [11]. В этой шихте клинкер играет роль восстановителя и одновременно железосодержащего материала. Использование такой шихты позволяет снизить расход кокса от 12–16 до 5–9 %, повысить извлечение Zn на 0,8 % — от 96 до 96,8 %, уменьшить расход электроэнергии на 50–100 кВт·ч/т цинка — от 3700 до 3650–3600 кВт·ч/т, увеличить производительность на 10 %.

Следует отметить работы ВНИИцветмета по самостоятельной переработке клинкеров вельцевания цинковых шлаков и ачисайской руды.

В институте были проведены лабораторные исследования обогащения свежего клинкера с получением угольного концентрата, содержащего 51,5–60,2 % углерода, при его извлечении 86–95 %. Кроме того, была исследована магнитная сепарация клинкера. Наиболее приемлемые показатели производства качественного угольного концентрата и максимального извлечения железа в магнитный концентрат получены при сочетании флотации и магнитной сепарации. При этом из ачисайского клинкера получены следующие продукты:

- магнитный концентрат с содержанием железа 56,3–60 % при его извлечении 67–70 %, который может быть использован в черной металлургии;

- угольный концентрат, содержащий 56,1–58,3 % углерода, при его извлечении 90,3–90,5 %;

- отвальные хвосты, выход которых составляет 55–59 %, с содержанием до 7 % железа и 2,3 % углерода; рекомендованы для производства стройматериалов [3].

Показана возможность получения из ачисайского клинкера строительных материалов, минеральной ваты [12], а также использования его в дорожном строительстве [13]. Подобная работа была проведена и с клинкерами Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината — УКСЦК (Cu 1,73 %, Zn 0,37 % и Pb 0,42 %). После измельчения клинкер подвергали мокрой магнитной сепарации. В магнитный концентрат извлекается до 90 % Fe и 85 % Cu. Из немагнитной фракции флотацией с использованием соснового масла был получен коксовый концентрат с извлечением в него до 90 % углерода. Отвальные хвосты магнитно-флотационного обогащения, содержащие в сумме до 0,54 % цветных металлов (Zn, Pb, Cu), могут быть использованы для производства строительных материалов. Немагнитную фракцию, в которой содержится значительно меньше меди и больше углерода, можно использовать при агломерации свинцовых концентратов [12].

Известна переработка клинкера вельцевания шлаков шахтной свинцовой плавки магнитной сепарацией с получением (25–30 %) ферромагнитного концентрата, содержащего 75–89 % Fe и 1–1,5 % Cu [14]. При этом магнитный концентрат использовали при фьюминговании шлаков, в шихте агломерации свинцового производства, при обогащении окисленных медных руд (взамен чугушной стружки), а из немагнитной фракции был получен угольный концентрат с содержанием 58 % C, который рекомендуется использовать при вельцевании вдуванием в печь или гранулированием с оборотной пылью [15].

На заводе «Электроцинк» проводили эксперимент по обдувке клинкера сжатым воз-

духом (отдувке углерода) и с подачей угольно-воздушной смеси в голову вельц-печи. Однако несмотря на увеличение производительности (на 10 %) и снижение расхода коксика эксперимент был прекращен из-за ухудшения качества вельц-оксида из-за загрязнения его золой и углеродом [16].

Интересен опыт переработки богатого клинкера в Болгарии [17]. Клинкер, содержащий 2,23 % Cu, 1,31 % Zn, 1,25 % Pb, 19,1 % C, 20,0 % SiO₂, 4,47 % S, а также 200 г/т Ag и 12 Au, подвергают грохочению. Класс +16 мм отгружают на медеплавильные заводы, остальное (–16 мм) разделяют в тяжелой суспензии, после чего тяжелую фракцию отправляют на медеплавильный завод, а легкую используют в вельц-печах. При этом извлечение меди в продукты для металлургической переработки достигает 93 %.

Для переработки бедных по благородным металлам клинкеров используют более сложные технологические схемы с сочетанием флотации и магнитной сепарации. По данным Унипромеди, извлечение Cu и Au в перерабатываемые продукты может достигать 91,7 %, Ag 89,1 %. На зарубежных предприятиях возможно получение концентратов с 1,5 % Cu и 515–620 г/т Ag при содержании Cu в немагнитной фракции 0,05 %, C 80 % (Перу, завод Ла-Оройя) или с 1,6 % Cu, 3,2 г/т Au и 544 г/т Ag (Япония, завод Айдзу) [18, 19].

Технология ВНИИХТ предусматривает последовательное селективное выделение из клинкера меди и цинка выщелачиванием серной кислотой при 60–80 °С, извлечение золота и серебра из отмытого кека по сорбционной технологии с последующим выделением коксика флотацией [20, 21]. Сорбционная технология включает цианирование пульпы, что является недостатком технологии. Поэтому предлагается также технология извлечения золота и серебра с использованием бисульфита натрия. По этой технологии предполагается извлечение меди (до 90–95 %) в виде медного порошка, золота и серебра (до 85–90 и 55–65 % соответственно) в сплав Доре и 95 % угля в концентрат с содержанием до 90 % углерода.

Для извлечения цветных металлов из клинкеров вельцевания УКСЦК и ЧЭЦЗ (Челябинский электролитный цинковый завод) в Гинцветмете разработан хлоридовозгоночный способ в печи кипящего слоя [22–25]. Способ испытан на полупромышленной установке часовой производительностью 165 кг по сырью. Так, при переработке клинкеров УКСЦК, содержащих 1,89 % Cu, 2,43 % Zn, 0,87 % Pb, 250 г/т Ag и 5 г/т Au, при 1223–1273 К степень хлоридовозгонки металлов составила: Cu 86,5 %, Zn 79 %, Pb 93,2 %, Ag 93,8 %, Au 88 %. Несмотря на то что Кавказгипроцветметом был разработан технический проект на строительство установки по перера-

ботке клинкера завода «Электроцинк» производительностью 100 тыс. т/год, способ не нашел практической реализации. Недостатки способа: высокая продолжительность процесса (5,5 ч), большой расход концентрированного раствора CaCl_2 (30 % массы руды), сравнительно высокое остаточное содержание в огарке Zn (0,5 %) и Cu (0,25 %).

В КазХТИ разработан хлоридный способ переработки клинкеров УКСЦК в трубчатой вращающейся печи с совмещением в печи хлоридовозгонки цветных металлов и формированием цементного клинкера [26]. На предварительном этапе исследований было установлено, что углерод, присутствующий в клинкере (20 %), угнетает хлоридовозгонку цветных металлов. Поэтому хлоридовозгонку проводили с разубоженной шихтой (50 % известняка, 35 % клинкера, 9 % фосфогипса, 9,1 % CaCl_2). При 1373–1423 К в течение 1 ч степень хлоридовозгонки цветных металлов составила, %: Cu 87,34, Zn 88,93, Pb 96,44, Ag 90. Из огарка после помола с 5 % гипса был сформирован цемент марки М-300. Несмотря на то что экономический эффект по разработанному способу составляет около 10 долл. США/т клинкера, способ нельзя признать рациональным, так как он предусматривает переработку шихты, в которой на долю нерудных составляющих приходится 55,9 %.

В 90-е годы в ЗАО «Южполиметалл» началась переработка ачисайского клинкера с получением магнитного концентрата и кокса, которая так и не получила распространения

на других предприятиях, ограничившись поисковыми экспериментами. Однако технологические показатели этого процесса (в том числе извлечение цветных металлов) в специальной литературе не описаны.

В 2000-е годы в ЮКГУ имени М. О. Ауэзова (Казахстан) была предпринята очередная попытка по комплексной переработке отвалов шлака от вельцевания цинковых руд месторождения Ачисай. Разработанная технология позволяла отгонять свинцово-цинковые возгоны (до 98 %) и извлекать железо и кремний в сплав — низкокачественный ферросилиций. При этом процесс был энергозатратным, с образованием большого количества отходов (более 50 %), которые предлагали дробить на шлаковый щебень. Исследования прошли опытно-промышленную апробацию, но не были внедрены в производство [3, 27].

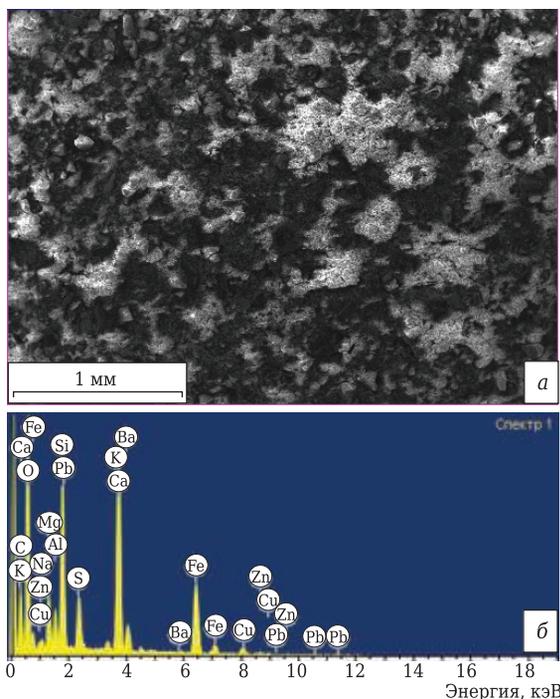
Ввиду продолжения работ, начатых и проводимых в Южно-Казахстанском университете имени М. О. Ауэзова, авторами настоящей статьи были проведены химический и элементный анализы шлака от вельцевания (см. рисунок) с целью его утилизации [28–59] методом комплексной переработки в качестве железосодержащей добавки при получении портландцементного клинкера [60–63]. Химический состав шлака от вельцевания АО «Ачполиметалл», %: CaO 14,87, SiO_2 18,12, MgO 2,81, Al_2O_3 4,75, Fe_2O_3 26,98, Zn 0,94, Pb 0,12, Cu 0,11, S 1,4, C 18,6, BaO 2,4, прочие 8,9.

Изучены результаты анализа химического состава шлака, которые ориентировочно совпадают с проведенными ранее исследованиями его химического состава с преобладанием содержания железа [3, 27, 34]. Кроме того, проба шлака от вельцевания была проанализирована на растровом электронном микроскопе для оценки элементного состава. Результаты исследований показали (см. рисунок), что настоящий отход в виде шлака от вельцевания содержит кальций, кремний, кислород, железо, алюминий (что также подтверждают полученные результаты ранее проведенного химического анализа [3, 27, 34]), которые необходимы для получения цементного клинкера.

Таким образом, на основании проведенного обзора, химического и электронномикроскопического анализов, можно сделать следующие выводы:

- несмотря на большое многообразие методов переработки шлаков от вельцевания, крупномасштабная переработка ачисайских шлаков до настоящего времени так и не проводится;

- на протяжении многих лет отвалы шлака от вельцевания металлургического комбината АО «Ачполиметалл» продолжают загрязнять окружающую среду;



Микрофотография (а) и результаты элементного анализа отхода металлургического производства (б)

– техногенный отход металлургического производства в виде шлака от вельцевания, образовавшегося в результате многолетней работы металлургического комбината АО «Ач-

полиметалл», является ценным минеральным сырьем и может быть использован в качестве железосодержащей добавки при получении портландцементного клинкера.

Библиографический список

- 1. Fechet, R.** Mining wastes — sampling, processing and using in anufacture portland cement / R. Fechet, M. Zlagnan, A. Moanta, L. Ciobanu // Romanian Journal of Mineral Deposits. — 2010. — Vol. 84. — P. 67–70.
- 2. Чантурия, В. А.** Инновационные процессы глубокой и комплексной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов / В. А. Чантурия, И. В. Шадрюнова, О. Е. Горлова // Междунар. науч.-практ. конф. «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов». — Алматы : ИМиО, 2018. — С. 7–13. <https://doi.org/10.31643/2018-7.45>.
- 3. Абдеев, М. А.** Вельцевание цинксвинцовсодержащих материалов / М. А. Абдеев, А. В. Колесников, Н. Н. Ушаков. — М. : Металлургия, 1985. — 120 с.
- 4. Кожжахметов, С. М.** Исследования в области теории и технологии автогенных процессов : избр. тр. / С. М. Кожжахметов. — Алматы : 2005. — 400 с.
- 5. Наталина, В. А.** Совместная плавка медно-цинковых концентратов и клинкера цинкового производства автогенным способом / В. А. Наталина, С. М. Кожжахметов, А. Н. Будовский [и др.] // КИМС. — 1985. — № 6. — С. 55–58.
- 6. Минсеитов, С. Р.** Переработка клинкера на БГМК : тез. докл. респ. конф. «Состояние и перспективы внедрения автогенных процессов в отрасли» / С. Р. Минсеитов, М. Ю. Раджибаев, Г. П. Мироевский [и др.]. — Балхаш : КазНИИТИ, 1987. — С. 15, 16.
- 7. Кожжахметов, С.** Испытания по переработке клинкера в печах Ванюкова АО «Балхашмедь» С. Кожжахметов, Р. З. Жалелев, С. А. Квятковский // Сб. докл. V Межд. конф. по химии и технологии халькогенов, посвя. 70-летию Е. А. Букетова. — Караганда, 1995. — 229 с.
- 8. А. с. 1690393 СССР.** Способ переработки клинкера цинкового производства / Мечев В. В., Мызенков Ф. А., Куленов А. С., Багаев И. С., Гумаров Э. З., Глупов О. В., Калнин Е. И., Смаилов С. Д., Ключев Г. Ф. ; опубл. 15.06.94, Бюл. № 11.
- 9. Калнин, Е. И.** Применение процесса Ванюкова для переработки клинкера цинкового производства / Е. И. Калнин, А. В. Гречко, А. В. Тарасов [и др.] // Цветная металлургия. — 1988. — № 8. — С. 25–27.
- 10. Огородничук В. И., Коваленко А. С., Мальцев В. И.** // Цветные металлы. — 1983. — № 10. — С. 44, 45.
- 11. А. с. 1097697 СССР.** Шихта для переработки цинксодержащих материалов плавкой / А. В. Тарасов, В. И. Гель, В. А. Подлужная ; опубл. 15.06.1984, Бюл. № 22.
- Физико-химические исследования в металлургии свинца и цинка : сб. статей / под общ. ред. М. С. Гецкина. — Усть-Каменогорск : ВНИИцветмет, 1980. — 106 с.
- 13. Абдеев, М. А.** Извлечение ценных компонентов из отвалных продуктов производства тяжелых цветных металлов / М. А. Абдеев, А. И. Юсупова, В. М. Пискунов, А. В. Колесников. — М. : Цветметинформация, 1980. — 48 с.
- 14. Топчаев, В. П.** Использование коксика клинкера для интенсификации процесса вельцевания / В. П. Топчаев, Н. В. Ходов, А. Н. Давидсон, Г. А. Енутаев // Цветные металлы. — 1972. — № 1. — С. 23, 24.
- 15. Колесников, А. В.** Влияние соединений кальция и магния на отгонку цинка при производстве цинковых белил / А. В. Колесников, А. Г. Пусько, А. А. Дивак // Цветные металлы. — 1977. — № 6. — С. 15–17.
- 16. Снурников, А. П.** Комплексное использование минеральных ресурсов в цветной металлургии / А. П. Снурников. — М. : Металлургия, 1965. — 358 с.
- 17. Митрофанов, С. И.** Комбинированные процессы переработки руд цветных металлов / С. И. Митрофанов, В. И. Мещанинова, А. В. Курочкина [и др.]. — М. : Недра, 1998. — 230 с.
- 18. Феттерольф, Л. Д.** Электроплавка цинково-го клинкера на зеркальный чугуна на заводе фирмы Нью-Джерси Цинк / Л. Д. Феттерольф // Материалы 28-й конференции по электроплавке. — 1970. — Т. 2, № 15. — С. 409–422.
- AIME World symposium on mining and metallurgy of lead and zinc: extractive metallurgy of lead and zinc / Ed. by C. H. Cotterill and J. M. Cigan. — New York : American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, 1970. — 865 p.
- 20. Зайцев, В. Я.** Металлургия свинца и цинка / В. Я. Зайцев, Е. В. Маргулис. — М. : Металлургия, 1985. — 269 с.
- 21. Санакулов, К. С.** Переработка шлаков медного производства / К. С. Санакулов, А. С. Хасанов. — Ташкент : ФАН, 2007. — 238 с.
- 22. Зак, М. С.** Полупромышленные испытания хлоридовозгонного обжига клинкера в кипящем слое / М. С. Зак, Е. Ф. Чехова, А. И. Довершин, В. С. Селявин // Сб. науч. тр. Гинцветмета «Совершенствование технологии производства тяжелых цветных металлов». — М. : ЦНИИцветмет, 1983. — С. 35–43.
- 23. Зак, М. С.** Исследование закономерностей хлоридовозгонного обжига клинкера ЧЭЦЗ / М. С. Зак, Е. Ф. Чехова // Сб. науч. тр. Гинцветмета «Совершенствование технологии производства тяжелых цветных металлов». — М. : ЦНИИцветмет, 1983. — С. 22–29.
- 24. Доверман, А. И.** Разработка и исследование основных узлов температурного оформления процесса хлоридовозгонного обжига в кипящем слое и их влияние на технологию процесса : автореф. ... канд. техн. наук. — М. : Гинцветмет, 1983. — 23 с.
- 25. Тарасов, А. В.** Извлечение ценных компонентов из клинкеров цинкового производства / А. В. Тарасов, М. С. Зак // Цветная металлургия. — 1990. — № 6. — С. 46–48.
- 26. Оспанов, С. С.** Хлоридная технология переработки свинцово-цинковых промпродуктов и труднообогатимых руд : автореф. ... канд. техн. наук. — Алмата, 1985. — 29 с.
- 27. Колесников, А. С.** Технология переработки отходов цинковой промышленности с получением ферросплава и возгонов цветных металлов / А. С. Колесни-

- ков, Б. А. Капсаямов, О. Г. Колесникова [и др.] // Вестн. ЮУрГУ. — 2013. — № 1. — С. 34–39.
28. **Kolesnikov, A. S.** Kinetic investigations into the distillation of nonferrous metals during complex processing of waste of metallurgical industry / A. S. Kolesnikov // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. — 2015. — Vol. 56, № 1. — P. 1–5. <https://doi.org/10.3103/S1067821215010113>.
29. **Andrianov, I. K.** Finite-element model of the shell-shaped half-pipes forming for blanks behavior investigating during corrugating at the stamping / I. K. Andrianov, A. V. Stankevich // International science and technology conference EASTCONF 2019, Vladivostok, 01–02 march 2019. — P. 1–3. DOI: 10.1109/EastConf.2019.8725322.
30. **Гельманова, З. С.** Особенности образования и использования вторичных ресурсов в металлургическом производстве / З. С. Гельманова, Д. М. Жаксыбаев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2016. — № 7. — С. 749–753. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=9954> (дата обращения: 23.01.2020).
31. **Vasileva, N. V.** Process control quality analysis / N. V. Vasileva, E. R. Fedorova // Tsvetnye Metally. — 2020. — № 10. — P. 70–76. DOI: 10.17580/tsm.2020.10.10.
32. **Sokova, S. D.** The choice of durable blocking waterproofing mathematical method / S. D. Sokova, N. V. Smirnova // J. Phys.: Conf. Series. — 2019. — Vol. 1425. — Article 012046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012046> (2019).
33. **Аксенова, Л. Л.** Использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной индустрии / Л. Л. Аксенова, Л. В. Хлебенских // Технические науки в России и за рубежом: материалы III Междунар. науч. конф. (Москва, июль 2014 г.). — М.: Буки-Веди, 2014. — С. 106–108. URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/90/5669/> (дата обращения: 23.01.2020).
34. **Колесников, А. С.** Термодинамическое моделирование химических и фазовых превращений в системе шлак от вельцевания–углерод / А. С. Колесников, Г. С. Кенжибаева, Н. Е. Ботабаев [и др.] // Новые огнеупоры. — 2020. — № 5. — С. 45–49. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2020-5-45-49>.
- Kolesnikov, A. S.** Thermodynamic modeling of chemical and phase transformations in a waelz process-slag–carbon system / A. S. Kolesnikov, G. S. Kenzhibayeva, N. E. Botabaev [et al.] // Refract. Ind. Ceram. — 2020. — Vol. 61, № 3. — P. 289–292. <https://doi.org/10.1007/s11148-020-00474-4>.
35. **Satbaev, B. N.** Environmental technology for the integrated disposal of man-made wastes of the metallurgical industry: self-curing, chemically resistant refractory mass / B. N. Satbaev, A. I. Koketaev, E. O. Aimbetova [et al.] // Refract. Ind. Ceram. — 2019. — Vol. 60, № 3. — P. 318–322. <https://doi.org/10.1007/s11148-019-00360-8>.
- Сатбаев, Б. Н.** Природоохранная технология комплексной утилизации техногенных отходов металлургической промышленности: самоспекающаяся химически стойкая огнеупорная масса / Б. Н. Сатбаев, А. И. Кокетаев, Е. О. Айметова [и др.] // Новые огнеупоры. — 2019. — № 6. — С. 64–68.
36. **Sokova, S. D.** Bentonite grout backfill technology for underground structures / S. D. Sokova, N. V. Smirnova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2019. — Vol. 661. — Article 012100. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012100.
37. **Vasilyeva, N. V.** Implementation of fuzzy logic in the smelting process of control algorithms of copper-nickel sulfide materials / N. V. Vasilyeva, P. V. Ivanov // J. Phys.: Conf. Series. — 2019. — Vol. 1384. — Article 012065. DOI: 10.1088/1742-6596/1384/1/012065.
38. **Кожыхан, А. К.** Научно-технологический анализ вторичной переработки техногенных отходов энергетики и горно-химических предприятий / А. К. Кожыхан, Ш. М. Умбетова // Молодой ученый. — 2009. — № 12. — С. 54–57. URL <https://moluch.ru/archive/12/898/> (дата обращения: 23.01.2020).
39. **Andrianov, I.** The stress-strain state simulation of the aircraft fuselage stretch forming in the ANSYS / I. Andrianov, A. Stankevich // J. Phys.: Conf. Series. — 2019. — Vol. 1333. — Article 08202. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/8/082002.
40. **Kolesnikov, A. S.** Chemical and phase transitions in oxidized manganese ore in the presence of carbon / A. S. Kolesnikov, I. V. Sergeeva, N. E. Botabaev [et al.] // Steel in Translation. — 2017. — Vol. 47, № 9. — P. 605–609. <https://doi.org/10.3103/S0967091217090078>.
41. **Andrianov, I. K.** The finite element simulation of the stamping die optimal topology / I. K. Andrianov, S. V. Belykh // International science and technology conference EASTCONF 2019, Vladivostok, 01–02 march 2019. — P. 1–3. DOI: 10.1109/EastConf.2019.8725410.
42. **Маннанова, Г. В.** Техника и технология утилизации твердых отходов / Г. В. Маннанова. — М.: Знание, 2007. — 24 с.
43. **Sokova, S. D.** Reliability assessment of waterproofing systems of buildings underground parts. 14.07.2018 / S. D. Sokova, N. V. Smirnova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2018. — Vol. 365. — Article 052028. DOI: 10.1088/1757-899X/365/5/052028.
44. **Abdrakhimova E. S.** Study of acid-resistant material properties based on noferrous metallurgy waste using regression analysis / E. S. Abdrakhimova // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 56, № 5. — P. 510–516. <https://doi.org/10.1007/s11148-016-9878-9>.
- Абдрахимова, Е. С.** Исследование характеристик кислотоупоров на основе отходов цветной металлургии с применением регрессионного анализа / Е. С. Абдрахимова // Новые огнеупоры. — 2015. — № 9. — С. 54–61.
45. **Vasilyeva, N. V.** Quality analysis of technological process control / N. V. Vasilyeva, N. I. Koteleva, P. V. Ivanov // International Journal for Quality Research. — 2018. — Vol. 12, № 1. — P. 111–128. DOI: 10.18421/IJQR12.01-07.
46. **Peng, Zhiwei.** Slag metallurgy and metallurgical waste recycling / Zhiwei Peng, Dean Gregurek, Christine Wenzl, Jesse F. White // JOM. — 2016. — Vol. 68, № 9. — P. 2313–2315. <https://doi.org/10.1007/s11837-016-2047-2>.
47. **Kolesnikov, A. S.** Review of the processing of minerals and technogenic sulfide raw material with the extraction of metals and recovering elemental sulfur by electrochemical methods / A. S. Kolesnikov, V. N. Naraev, M. I. Natorhin [et al.] // Rasayan Journal of Chemistry. — 2020. — Vol. 13, № 4. — P. 2420–2428. <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2020.1346102>.
48. **Vasilyeva, N. V.** Development of a control subsystem to stabilize burden materials charging into a furnace /

N. V. Vasilyeva, P. V. Ivanov // J. Phys. : Conf. Series. — 2019. — Vol. 1210. — Article 012158. DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012158.

49. **Khoroshavin, L. B.** Problems of technogenic resources / L. B. Khoroshavin, V. A. Perepelitsyn, D. K. Kochkin // Refract. Ind. Ceram. — 1998. — Vol. 39, № 9/10. — P. 366–368. <https://doi.org/10.1007/BF02770604>.

Хорошавин, Л. Б. Проблемы техногенного сырья / Л. Б. Хорошавин, В. А. Перепелицын, Д. К. Кочкин // Огнеупоры и техническая керамика. — 1998. — № 10. — С. 15–18.

50. **Andrianov, I. K.** Optimization model of thermal loading of multilayer shells based on the strength criterion / I. K. Andrianov // International science and technology conference EASTCONF 2019, Vladivostok, October 2019. — P. 1–4. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934017.

51. **Dana-Adriana, Iuțiu-Varvara.** Researching the hazardous potential of metallurgical solid wastes / Iuțiu-Varvara Dana-Adriana // Pol. J. Environ. Stud. — 2016. — Vol. 25, № 1. — P. 147–152. <https://doi.org/10.15244/pjoes/60178>.

52. **Sokova, S. D.** Innovative technological solutions to ensure the reliability of operated buildings / S. D. Sokova, N. V. Smirnova // Journal MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 251. — Article 06018. DOI: 10.1051/mateconf/201825106018.

53. **Kolesnikov, A. S.** Thermodynamic simulation of chemical and phase transformations in the system of oxidized manganese ore – carbon / A. S. Kolesnikov, I. V. Sergeeva, N. E. Botabaev [et al.] // Izvestiya Ferrous Metallurgy. — 2017. — Vol. 60, № 9. — P. 759–765. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-9-759-765>.

54. **Wellington, L. Ferreira.** Incorporation of residues from the minero-metallurgical industry in the production of clay-lime brick / L. Ferreira Wellington, Érica L. Reis, Rosa M. F. Lima // Journal of Cleaner Production — 2015. — Vol. 87. — P. 505–510. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.013>.

55. **Vasilyeva, N. V.** Statistical methods of evaluating quality of technological process control of trends of main parameters dependence / N. V. Vasilyeva, E. R. Fedorova // J. Phys.: Conf. Series. — 2018. — Vol. 1118. — Article 012046. DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012046.

56. **Satbaev, B. N.** Environmental technology for the integrated disposal of man-made wastes of the metallurgical industry: self-curing, chemically resistant

refractory mass / B. N. Satbaev, A. I. Koketaev, É. O. Aimbetova [et al.] // Refract. Ind. Ceram. — 2019. — Vol. 60, № 3. — P. 318–322. <https://doi.org/10.1007/s11148-019-00360-8>.

57. **Andrianov, I. K.** Modeling of effective material distribution of stamping equipment in forming processes / I. K. Andrianov // International science and technology conference EASTCONF 2019, Vladivostok, October 2019. — P. 1–3. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8933949.

58. **Vasilyeva, N. V.** Real-time control data wrangling for development of mathematical control models of technological processes / N. V. Vasilyeva, E. R. Fedorova, N. I. Koteleva // J. Phys. : Conf. Series. — 2018. — № 1015. — Article 32067. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032067.

59. **Satbaev, B.** Rice husk research: from environmental pollutant to a promising source of organo-mineral raw materials / B. Satbaev, S. Yefremova, A. Zharmenov [et al.] // Materials. — 2021. — Vol. 14, № 15. — P. 4119. <https://doi.org/10.3390/ma14154119>.

60. **Boikov, A.** Synthetic data generation for steel defect detection and classification using deep learning / A. Boikov, V. Payor, R. Savelev [et al.] // Symmetry. — 2021. — Vol. 13, № 7. — P. 1176. <https://doi.org/10.3390/sym13071176>.

61. **Efremova, S. V.** Scientific and technical solutions to the problem of utilization of waste from plant- and mineral-based industries / S. V. Efremova // Russ. J. Gen. Chem. — 2012. — Vol. 82. — P. 963–968. <https://doi.org/10.1134/S1070363212050295/>.

62. **Vasilyeva, N.** Big data as a tool for building a predictive model of mill roll wear / N. Vasilyeva, E. Fedorova, A. Kolesnikov // Symmetry. — 2021. — Vol. 13, № 5. — P. 859. <https://doi.org/10.3390/sym13050859/>.

63. **Классен, В. К.** Энергоресурсосбережение в производстве цемента / В. К. Классен // Современные наукоемкие технологии. — 2004. — № 1. — С. 58, 59. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=21554> (дата обращения : 16.12.2020). ■

Получено 04.02.21

© А. С. Колесников, Б. Е. Серикбаев, А. Л. Золкин, Г. С. Кенжибаева, Г. И. Исаев, Н. Е. Ботабаев, Ш. К. Шапалов, О. Г. Колесникова, Г. М. Изтлеуов, А. Ж. Суйгенбаева, А. Н. Кутжанова, Д. Д. Асылбекова, Х. А. Аширбаев, О. З. Альчинбаева, В. А. Колесникова, 2021 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Ceramitec 2021
Technologies · Innovations · Materials

Hot spot for the ceramics industry

■ 16–19 ноября 2021 г.
■ г. Мюнхен, Германия

www.ceramitec.com