

ISSN 2091-5527
№ 2/2025

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ КЛИНКЕРА ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Максудходжаева М.С.

АФ ТашГТУ имени И.Каримова

Аннотация. При гидрометаллургической переработке цинковых концентратов образуется техногенный отход-клинкер, содержащий значительные количества цветных и благородных металлов. В настоящем исследовании рассмотрена возможность комплексного использования производственных отходов, образующихся при переработке клинкера как техногенного сырья цинкового производства.

Ключевые слова: клинкер, медный концентрат, флюс, отражательная печь, золото, серебро, углерод, железо, шлак, кек.

Введение. Современное развитие металлургической промышленности характеризуется стабильным ростом объемов производства и потребления черных, цветных и благородных металлов. Одновременно с этим интенсификация эксплуатации богатых рудных месторождений приводит к их истощению, что, в свою очередь, обуславливает необходимость разработки и внедрения новых технологических решений, направленных на эффективное использование вторичных и техногенных ресурсов [1–4].

При гидрометаллургической переработке цинковых концентратов, наряду с получением цинка высокой степени чистоты, образуются твердые остатки - труднообрабатываемый оборотный продукт, известный как цинковый кек. Одним из основных способов его переработки остается пирометаллургический метод - вельц-процесс, обеспечивающий высокий уровень извлечения цинка (более 90%), однако он характеризуется высокой себестоимостью, в первую очередь, из-за значительного расхода кокса [5,6].

Побочным продуктом вельц-процесса является клинкер - техногенный материал, содержащий: 0,83–3,56 % Zn, 0,62–4,10 % Cu, 20–30 % Fe, 20–25 % C, а также благородные металлы в концентрациях 1–10 г/т Au и 100–750 г/т Ag. На АО «Алмалыкский ГМК» данный материал используется в качестве шихтового компонента в отражательных печах для извлечения благородных металлов. Однако в этом случае значительная часть углерода теряется, а железо уходит в шлак, что снижает металлургическую эффективность процесса [7].

При шахтной плавке переработки клинкера требуется значительное количество

дорогостоящего кокса, а при отражательной - природного газа. При этом в составе клинкера содержится до 28% углерода, восстановительный потенциал которого в указанных печах не используется, а до 25% железа теряется в шлаке [8].

С целью повышения извлечения меди на АО «Алмалыкский ГМК» клинкер также применяется в качестве восстановителя при переработке конвертерных шлаков (обеднение их по меди в процессе конвертирования медных штейнов). Проведенные исследования показали, что при использовании клинкера в этой роли концентрация магнетита в шлаке снижается с 21,9% до 11,8%, а содержание меди с 3,6% до 1,96%. Несмотря на это, использование вышеуказанных технологий не позволяет избежать накопления клинкера на хвостохранилищах, объем которого на сегодняшний день превысил 475 тыс. тонн [9,10].

Альтернативным направлением является использование гидрометаллургических методов, исключаящих дорогостоящий этап вельц-процесса и потребление импортируемого кокса. Наиболее перспективной технологией переработки цинковых кеков считается двухстадийное выщелачивание: первая стадия - нейтральное выщелачивание вельц-окси, вторая - кислотное выщелачивание нерастворимого остатка. Такая схема обеспечивает извлечение в раствор до 90% цинка и до 85% кадмия, с образованием побочного свинцового кека, содержащего 30–40% Pb, 5–15% Zn, 0,35–0,4% Cd [11–13].

Материалы и методики. В качестве объекта был выбран текущий клинкер цинкового завода АО «Алмалыкский ГМК».

Таблица 1

Химический состав текущего клинкера

| Наименование элемента, соединения | Cu | Pb | Zn | Fe _{общ} | S _{общ} | C | CaO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ |
|-----------------------------------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|
| Содержание | 2,2 | 0,51 | 2,1 | 19,53 | 8,39 | 29,55 | 6,06 | 4,08 | 16,42 |
| Наименование элемента, соединения | MgO | Cd | As | TiO ₂ | H ₂ O | Mn ₂ O ₃ | Ba | Au | Ag |
| Содержание | 2,72 | <0,01 | 0,155 | 0,21 | 0,6 | 0,47 | 2,3 | 3,2 г/т | 260,27 г/т |

Учитывая, что основная масса благородных металлов в клинкере сосредоточена в углеродистой фракции, где углерод выполняет функцию коллектора, целесообразным представляется предварительное извлечение углерода методом флотации. В лабораторных условиях клинкер предварительно измельчался до 75 % класса -0,074 мм, после чего подвергался угольной флотации с применением в качестве реагента только керосина в дозировке 400–500 г/т. В результате достигнуто извлечение углерода на уровне 98 %. Основными стадиями технологической схемы выступали: дробление, измельчение и флотация.

Флотационный концентрат, обогащённый углеродом и благородными металлами, может быть включён в состав шихты, загружаемой в отражательную печь. Это обеспечивает эффективность извлечения золота на уровне 93–95 %. Дополнительно углеродный компонент, обладая высокой восстановительной способностью, способствует восстановлению магнетита, что улучшает физико-химические

свойства шлака и способствует снижению содержания меди в отвальных шлаках.

Флотационный хвост, освобождённый от углерода, содержит металлическое железо, обладающее способностью восстанавливать оксиды железа. Данный продукт может быть использован для восстановления трёхвалентного железа (Fe_3O_4) до двухвалентной формы (FeO) в составе конвертерного шлака перед его загрузкой в отражательную печь. Это позволяет улучшить качество шлака и снизить потери ценных металлов. Кроме того, данный материал может рассматриваться в качестве дополнительного источника сырья для черной металлургии.

В рамках исследования были проведены лабораторные опыты по выделению железосодержащего компонента клинкера в отдельный продукт. Изучалась зависимость степени извлечения железа от величины силы тока. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Полученные данные магнитной сепарации клинкера

| № | Сила тока, а | Напряжение, в | Выход концентратов | | Концентрация железа, % | Извлечение железа в концентрат, % |
|---|--------------|---------------|--------------------|-------|------------------------|-----------------------------------|
| | | | Гр. | % | | |
| 1 | 0,25 | 140 | 12,6 | 6,30 | 58,40 | 19,34 |
| 2 | 0,31 | 180 | 24,8 | 12,40 | 65,25 | 42,63 |
| 3 | 0,38 | 210 | 38,1 | 19,05 | 63,14 | 63,15 |
| 4 | 0,45 | 255 | 47,3 | 23,65 | 61,31 | 76,05 |

Результаты проведённых экспериментов по магнитной сепарации свидетельствуют о возможности эффективного извлечения железа из клинкера с получением железорудного концентрата, содержащего 61,31–65,25 % Fe. Эти показатели соответствуют стандартным требованиям, предъявляемым к железорудным концентратам, что открывает перспективы дальнейшего использования данного материала в металлургическом производстве.

Снижение содержания магнетита в шлаке на 10 % способствует уменьшению его плотности с 3,7 до 2,72 г/см³, что улучшает условия фазового разделения "шлака - штейн", снижает вязкость шлаковой фазы и, как следствие, уменьшает потери цветных и благородных металлов с отвальными шлаками. Восстановление магнетита в шлаке происходит по следующей реакции:



В рамках настоящего исследования были проведены лабораторные опыты по восстановлению магнетита в составе конвертерного шлака. В качестве восстановителя использовался железо, добавляемый в количестве 1–10 % от массы шлака. Шихта, массой 50 г, состоявшая из

конвертерного шлака и дроблёного чугуна, загружалась в алундовый тигель и подвергалась термической обработке в лабораторной электрической муфельной печи марки *Nabertherm*.

Процесс термической обработки включал предварительный нагрев до заданной температуры в течение 20 минут, после чего осуществлялось выдерживание при температуре реакции в течение 60 минут.

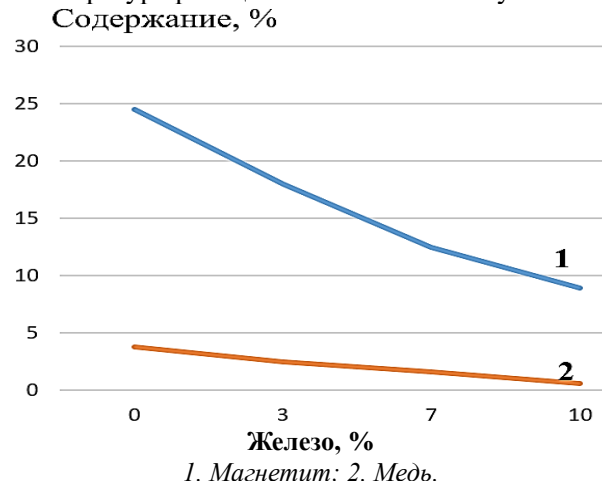


Рис. 1. Зависимость уменьшения количества магнетита и меди в конвертерном шлаке при его восстановлении железом при 1250°C

Эти условия были выбраны на основе предварительных термодинамических расчётов и направлены на максимальное восстановление магнетита до вюститита с целью улучшения качества шлака и снижения потерь меди и других ценных компонентов. Результаты проведённых экспериментов показали снижение содержания магнетита в конвертерном шлаке с 24,5 % до 8,9 %. Одновременно отмечено снижение содержания меди в шлаке с 3,75–2,77 % до 1,85–0,85 %, что свидетельствует о повышении эффективности восстановительного процесса и снижении металлургических потерь. Это, в свою очередь, обуславливает увеличение выхода меди до 83 %.

Выводы. Проведённые исследования подтвердили целесообразность предварительного обеднения конвертерного шлака за счёт восстановления магнетита железом, содержащимся в клинкере. Такая технологическая операция способствует повышению степени извлечения меди при последующей переработке сульфидного концентрата с использованием восстановленного конвертерного шлака в отражательной печи.

Применение предварительно восстановленного шлака позволяет повысить этот показатель до 83 %, что подтверждает эффективность предлагаемого подхода и его потенциал для промышленной реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хурсанов А.Х. История и перспективы развития, проблемы переработки техногенных месторождений Алмалыкского ГМК. Материалы международной НПК конференции. Алмалык 19.04.2019 г. с. 3–15
2. Якубов М.М., Абдукадыров А., А.Мухаметджанова Ш.А., Ёкубов О. М. Вовлечение в производство техногенных образований на предприятии АО «Алмалыкский ГМК» Журнал Цветные металлы №5, 2022г С.36-41
3. Купряков Ю.П. Отражательная плавка медных концентратов. – М.: Металлургия, 1976. – 350 с.
4. Украинцев И. В., Трубилов В. С., Клепиков А. С. Бедное, некондиционное и техногенное сырьё как перспективный источник получения меди // Цветные металлы. 2016. № 10. С. 36–42.
5. Марченко Н.В. «Металлургия тяжелых цветных металлов» ИПК СФУ. Красноярск 2009 г. С.392.
6. Тарасов, А. В. Общая металлургия /А.В.Тарасов, Н.И. Уткин. – М. :Металлургия, 1997. –592 с.
7. М.М.Якубов, О.М.Ёкубов, А.С.Хасанов, Ш.А.Мухаметджанова. Усовершенствование обеднения конвертерных шлаков медного производства. Узбекский химический Журнал. № 1, 2022г. С.30-34.
8. Абдурахмонов С., Тошкodieрова Р.Э. Исследования по переработке клинкера - отхода цинкового производства // Вестник науки и образования. №10 (88) часть 1. май 2020 г. - С.22-26.
9. Якубов М.М., Холикулов Д.Б., Ёкубов О.М., Максудходжаева М.С. Обеднение конвертерных шлаков до отвальных в печи Ванюкова при пирометаллургическом производстве меди на АО «Алмалыкский ГМК». Международную научно-практическую конференцию АО Satbayev University, 15-16 ноября 2023 г. в г. Алматы.
10. Якубов М.М., Холикулов Д.Б., Ёкубов О.М., Максудходжаева М.С. «Инновационные технологии вовлечения техногенных образований в пирометаллургическом производстве меди в печи Ванюкова на АО «Алмалыкский ГМК». Журнал «Композиционные материалы», №4, 2023 г. С.212-214
11. Ахтамов Ф. Э. Термопарообработка как метод переработки цинковых кеков // International scientific review. 2020. № LXXII. С. 15-16.
12. Абдурахмонов С. А., Тошкodieрова Р. Э., Ахмаджонов У. М., Курбонов Ш. К. Извлечение ценных компонентов из отходов цинкового производства // Горный вестник Узбекистана. 2010. № 2. С. 83–86.
13. Якубов М.М., Холикулов Д.Б., Ёкубов О.М., Хайдаралиев Х.Р. Разработка эффективной технологии гидromеталлургической переработка цинковых кеков АО «Алмалыкский ГМК» “Цветные металлы” 2025. № 2 С. 33-41.

6. Проблемные обзоры

| | |
|--|-----|
| Абед Н.С., Негматов С.С., Улмасов Т.У., Негматов Ж.Н., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю., Хаминев Б.Т., Бозорбоев Ш.А., Шамсиева С.С. Современное состояние и анализ акустических композиционных полимерных материалов, применяемых в различных отраслях промышленности | 160 |
| Эминов А.М., Хокимов А.Э., Кадирова З.Р., Худайназаров Ф.С., Турдикулов И.Э. Перспективы применение нефтяных шламов в производстве керамических строительных материалов | 164 |
| Улмасов Т.У., Абед Н.С., Негматов С.С., Негматов Ж.Н., Хаминев Б.Т., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю., Бозорбоев Ш.А., Шамсиева С.С. Актуальность создания акустических композиционных материалов с применением нанодисперсных модификаторов | 168 |
| Юлдашов Д.Я., Юсупбеков А.Х., Зубков Д.Г., Шамсиева С.С. Особенности состава тонкодисперсных шунгитовых порошков | 171 |
| Safarov A.R., Bozorov A.N., Ibragimov A.V. Bir o'lchamli Zn(II) koordinatsion polimerida azot molekularining adsorbsiyalanish jarayonini o'rganish | 173 |
| Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Мирзарахимова З.Б. Способы переработки изношенных шин | 176 |
| Кадиров С.У., Дадаходжаев А.Т. Производство железоксидного пигмента из отработанных среднетемпературных катализаторов | 179 |
| Inomova D.X., Yunusxodjayeva X.M. Insonning tana tuzilishi xususiyatlarini inobatga olib kiyimning konstruktiv-kompozitsion yechimini takomillashtirish | 181 |
| Pardayev O.T., Kenjayev N.N., Abdurakhmonov E.B. Kaolin gilidan olingan y-tipli zeolitning rentgen difraksiya tahlili | 185 |
| Максудходжаева М.С. Комплексное использование промпродуктов переработки клинкера техногенного сырья цинкового производства | 188 |
| Sherbutayeva D.D., Azizova X.M. Sorbsiya usuli orqali sanoat sharoitida renydan AP-00 ammoniy perrenat olish texnologiyasi | 191 |
| Yunusxodjayeva N.D., Mirtolipova N.X., Yunusxodjayeva X.M. Ayollar ustki kiyimlarida transformatsiya elementlarini qo'llanilishi va iqlimga mos konstruktiv-dekorativ yechimlarini ishlab chiqish | 195 |
| Kenjayev N.N., Pardayev O.T., Abdurakhmonov E.B. Skanerli elektron mikroskopiya (SEM) kaolin gilidan sintez qilingan y zeolitning tahlili | 198 |
| Садикова Н.К., Амонов М.Р. Изучение очистки сточных вод нефтеперерабатывающих производств комбинированным способом | 201 |
| Abdulahobova S.A., Mirtalipova N.X., Kamilova H.H. Ekstremal sovuq iqlim uchun mo'ljallangan maxsus kiyim paketini takomillashtirish | 205 |
| Panjiyev O., Negmatov S., Abed N., Talipov N. Rheological and mechanical properties of microsilica composite grouting materials for soil wall stabilization in oil well casing | 209 |
| Абед Н.С., Негматов С.С., Абдукахаров А.А., Туляганова В.С., Касымов Ш.Б., Джабаров Б.Т., Мурадов И.И., Эргашев Н.Э., Хайдаров И.Ю., Курбанов У.М., Бозорбоев Ш.А. Выбор полимеров и органоминеральных наполнителей и методика получения композиционных материалов с высокими электрофизическими и триботехническими свойствами | 212 |
| Negmatov S., Panjiyev O., Talipov N., Abed N. Investigation of the physico-mechanical properties of cement-microsilica compositions based on inorganic ingredients for soil wall stabilization in gas wells | 215 |

7. Вести из лаборатории

| | |
|---|-----|
| Абед Н.С., Улмасов Т.У., Негматов С.С., Негматов Ж.Н., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю., Бозорбоев Ш.А., Шамсиева С.С. Изучение и анализ органоминеральных компонентов, применяемых для улучшения акустических характеристик волокнисто-пористых композитов | 219 |
| Абед Н.С., Негматов С.С., Касымов Ш.Б., Туляганова В.С., Мурадов И.И., Джаббаров Б.Т., Эргашев Н.Э., Шамсиева С.С., Хайдаров И.Ю., Курбанов У.М., Бозорбоев Ш.А., Абдукахаров А.А. Перспективы создания композиционных полимерных материалов и покрытий с электропроводящими структурами и высокими триботехническими и механическими характеристиками | 222 |
| Xolmirzayev N.B., Turaxodjayev N.D., To'rayev A.N., Toshmatova Sh.T., Nurdinov Z.B., Nazarova N.T. Po'lat qotishmalaridan quymalar olishda nometall qo'shimchalarni kamaytirish ustida olib borilgan tadqiqotlar tahlili | 224 |
| Muxtorov S.A. Mahalliy va ikkilamchi xom-ashyolardan, issiqlikka chidamli, yuqori xromli cho'yanlar olishning amaliy istiqbollari | 226 |
| Yakubov M.M., Jumayeva X.Y., Yakubov O.M., Maksudxo'jayeva M.S., Suzeva S.N. "Yoshlik 1" karyerini mis porfir rudasini flotatsiya qilish jarayoni uchun tog'jinlarini hosil qiluvchi minerallarning selektiv yig'uvchi reagentini va depressorini tanlash | 228 |