

ISSN 2091-5527
№ 3/2025

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

УДК 669.332.242

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ СПОСОБА ОБЕДНЕНИЯ ШЛАКОВ МЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ПЛАВЛЕНИЯ В ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Очилдиев К.Т., Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.Т., Носирхужаев С.К.

Аннотация. Статья посвящена усовершенствованию технологии переработки сульфидных медных концентратов в плавильных печах на АО «Алмалыкский ГМК» с целью комплексного использования сырья в производстве меди. В статье отражены результаты исследования по снижению содержания капель штейна, находящиеся во взвешенном состоянии в составе конвертерного шлака и улучшению перехода меди в основную массу штейна в отражательной печи.

Ключевые слова: сульфид, медь, концентрат, сера, отражательная печь, конвертер, штейн, шлак, шихта, флюсы, клинкер, сера.

Введение. В Узбекистане медные руды и минералы в основном перерабатываются пирометаллургическим методом, который заключается в извлечении меди из сульфидных минералов CuFeS_2 , т.к. медь в рудниках Узбекистана в основном встречается в виде минерала халькопирита. Содержание меди в концентрате после флотационного метода обогащения руды составляет около 15-18% с последующим его плавлением на штейн, термической обработкой и разливкой в формы в виде анодов. В связи со значительным содержанием редких и драгоценных металлов в медной руде в результате дополнительного процесса электролитического рафинирования медных анодов образуются высококачественные медные (99,99%) катоды и пульпа, состоящая из смеси редких металлов, таких как золото, серебро, селен и теллур и т.д. [1].

Необходимо отметить, что на металлургическом медном заводе АО «Алмалыкский ГМК» с целью расширения сырьевой базы и ее комплексного использования в производстве меди, также непосредственно используются промышленные медные отходы в виде шлаков. Если техногенные отходы содержат высокую концентрацию меди, то ее внедряют в процесс обогащения в качестве оборотного материала вместе с рудой для получения концентратов и приготовления на их основе шихты, которую затем перерабатывают в плавильных печах [2].

Несмотря на многочисленные научные исследования по снижению расхода меди с применением различных способов переработки, которая в пирометаллургических технологиях является одной из наиболее острых проблем, как и во всем мире, проблема до сих пор не решена полностью.

На основе предложенной авторами работы по усовершенствованию способов переработки сульфидных медных концентратов в плавильной отражательной печи на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК» были проведены исследования по восстановлению и сульфидированию оксидов железа и меди из состава жидкого конвертерного шлака с применением восстановительно-сульфидирующей смеси, с последующим обезмеживанием его совместно с сульфидными медными концентратами в отражательной плавильной печи.

Обоснование выбора объектов исследования. С целью проведения исследования по восстановлению и сульфидированию конвертерного шлака в ковше была приготовлена восстановительно-сульфидирующая смесь компонентов, где в качестве восстановителя использовался клинкер цинкового производства на цинковом заводе АО «Алмалыкский ГМК», а в качестве сульфидирующего агента – техническая сера [3].

Вещественный состав конвертерного шлака АО «Алмалыкский ГМК» приведен в таблице 1.

Таблица 1

Вещественный состав оксидных соединений конвертерных шлаков на АО «Алмалыкский ГМК»

№	Содержание компонентов, %								
	Fe_3O_4	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	$\text{Cu}_{\text{общ}}$	$\text{S}_{\text{общ}}$	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	TiO_2
1	24,1	45,9	5,72	4,21	35,1	7,25	1,49	1,76	0,228
	Na_2O	K_2O	Cu_2O	FeO	ZnO	PbO	BaO	P_2O_5	Cu_2S
	2,96	1,66	3,52	15,28	0,95	0,545	0,152	0,775	3,23

В качестве сульфидирующего компонента для составления восстановительно-сульфидирующей композиции был выбран продукт в виде соединений серы (техническая

сера) Муборакского завода Кашкадарьинской области, физико-химические характеристики которой приведены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-химические характеристики технической серы

Виды показателей	Количество		
	Высший сорт	Первый сорт	Второй сорт
Визуальный вид	Куски желтого цвета разного размера. Механические смеси в виде бумаги, дерева, песка и др. не допускаются		
Массовая доля серы, (не менее) %	99,98	99,92	99,20
Массовая доля пепла, (не более) %	0,009	0,050	0,300
Массовая доля органических веществ, (не более) %	0,004	0,020	0,450
Массовая доля влаги, (не более) %	0,5	1,0	3,0

В качестве восстановителя был использован клинкер цинкового завода АО «Алмалыкский ГМК». Химический состав клинкера приведен в таблице 3.

Таблица 3

Химический состав клинкера цинкового завода АО «Алмалыкский ГМК»

Классы клинкера	Содержание, %										
	Cu	Zn	Fe	C	Pb	Cd	In	As	Au г/т	Ag г/т	Стекловидная силикатная фаза
КЛ-2	2,34	2,45	32	15	0,6	0,02	0,001	0,3	5-6	300-500	47,29
КЛ-3	2,11	2,69	36	16	0,7	0,02	0,009	0,3	2-5	250-300	42,17

Преимущества применения клинкера заключается в том, что в нем содержатся агенты восстановители в виде металлического железа ($Fe_{мет}$ 18 - 24%) и углерода кокса. Кроме того, в его состав входят медь и благородные металлы, которые в процессе восстановления конвертерного шлака переходят в состав штейна, являясь дополнительным источником ценных металлов [4].

При приготовлении восстановительно-сульфидирующего состава, когда расход

восстанавливающих и сульфидирующих веществ составляет в массовом соотношении 1:1, это в свою очередь имеет достаточные значения для восстановления магнетита в конвертерном шлаке и для сульфидирования окисленных соединений меди.

Химический состав восстановительно-сульфидирующего состава, применяемый для восстановления конвертерных шлаков АО «Алмалыкский ГМК», представлен в таблице 4 ниже.

Таблица 4

Химический состав композиции восстановительно-сульфидирующей смеси

Содержание компонентов, %											
Cu	Zn	Fe	S	C	Pb	Cd	In	As	Au г/т	Ag г/т	Стекловидная силикатная фаза
1,17	1,22	16	50	7,5	0,3	0,01	0,001	0,15	2-3	150-250	23,5

С целью получения более эффективного результата наиболее оптимальным размером состава композиции был выбран 20-25 мм для технической серы и 10-15 мм для клинкера. Сырье тщательно перемешивалось и хранилось в специальном бункере с целью обеспечения равномерного распределения компонентов.

Для переплавления сульфидных медных концентратов совместно с конвертерным шлаком в отражательной плавильной печи был выбран концентрат следующего состава, приведенный в таблице 5.

Таблица 5

Химический состав сульфидного медного концентрата, загружаемый в отражательную печь медеплавильного завода на АО «Алмалыкский ГМК»

Содержание компонентов, %										
Cu	Pb	Zn	Mo	Fe	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Другие	
16,9	0,02	0,03	0,04	31,3	30,8	15,3	2,13	1,1	2,38	

Методика проведения исследования. Для усовершенствования технологии переработки сульфидных медных концентратов в плавильной отражательной печи предложен способ переработки жидких конвертерных шлаков совместно с восстано-вительно-сульфидирующей смесью, технология которой разработана и реализована в два этапа. На первом этапе жидкий конвертерный шлак подвергался обработке восстановительно-сульфидирующей смесью после слива в ковше при температуре 1100 – 1200°C. На втором этапе переработанный конвертерный шлак совместно с сульфидным медным концентратом загружался в отражательную плавильную печь для увеличения выхода меди и других компонентов в состав штейна.

Для нормального протекания процесса плавления в высокотемпературной зоне печи (при средней температуре в начальной части

1200-1500°C и в конечной части 1100-1300°C) шихта, состоящая из переработанного конвертерного шлака и сульфидного медного концентрата предварительно тщательно перемешивалась. В среднем время плавки составляло 4 часа.

Отобрав несколько проб из переработанного жидкого конвертерного шлака, методом рентгеноструктурного анализа был проанализирован вещественный состав шлака с целью определения в нем количества оксидов магнетита и меди. В результате установлено, что количество магнетита в конвертерном шлаке уменьшилось с 26% до 9,94 %, т.е. на 16%.

Соответственно, вещественный состав образца конвертерного шлака, обработанного восстановительно-сульфидирующей смесью был проверен методом рентгеноструктурного анализа. Результаты анализа представлены в таблице 6.

Таблица 6

Вещественный (минералогический) состав конвертерного шлака, обработанного восстановительно-сульфидирующей смесью, %

Fe ₃ O ₄	Fe ₂ SiO ₄	Al ₂ O ₃	MgSiO ₃	CaSiO ₃	TiO ₂	K ₂ SiO ₃	FeS
9,94	41,97	8,65	4,34	2,8	0,31	3,68	7,95
Na ₂ SiO ₃	ZnSiO ₃	PbSiO ₃	BaSiO ₃	Ca ₃ (PO ₄) ₂	Cu ₂ S	Cu ₂ O	Другие
6,04	2,73	1,17	0,35	1,97	3,61	0,73	3,76

На основании вещественного состава материала, представленного в таблице 6, гравиметрическим методом были определены плотности капель штейна, находящиеся во взвешенном состоянии в составе

переработанного конвертерного шлака в ковше. На основании состава из таблицы 6 в таблице 7 приведены некоторые физические свойства шлака и штейна.

Таблица 7

Плотность и вязкость шлака и штейна, полученные в результате исследования

Материал	Плотность, г/см ³	Вязкость, Пуаз
Шлак	3,91	5,3
Штейн	5,14	0,2

Эффективность предлагаемого второго этапа переработки конвертерных шлаков совместно с сульфидными медными концентратами в отражательной печи заключается в том, что сульфидные соединения меди и железа, образующиеся в результате реакций сульфидизации превращают мелкие частицы штейна в капли штейна с большим радиусом. Это состояние в пирометаллургии называется коалесценцией, и ее усиление приводит к более быстрому разделению фаз штейна и шлака [5, 6].

После обезмеживания предварительно обработанного шлака в отражательной печи совместно с сульфидным медным концентратом были отобраны несколько проб с поверхности образовавшейся печной шлаковой фазы. Изменение количества меди в шлаке по

результатам от большого количества промышленных экспериментов, изображено на рисунке 1.

Из графика, изображенного на рисунке 2 видно, что по мере увеличения расхода восстановительно-сульфидирующей смеси количество меди в конвертерном шлаке уменьшается, в этом случае эффективный результат был достигнут при расходе смеси 10,8 % от общего объема конвертерного шлака. График показывает, что количество меди в шлаке уменьшается при резком угле отклонения от 5,4% до 0,45%, а в значениях после этого кривая снижения относительно стабилизируется. Отсюда можно сделать вывод о том, что содержание меди снизилось до значений, соответствующих отвальным шлакам.

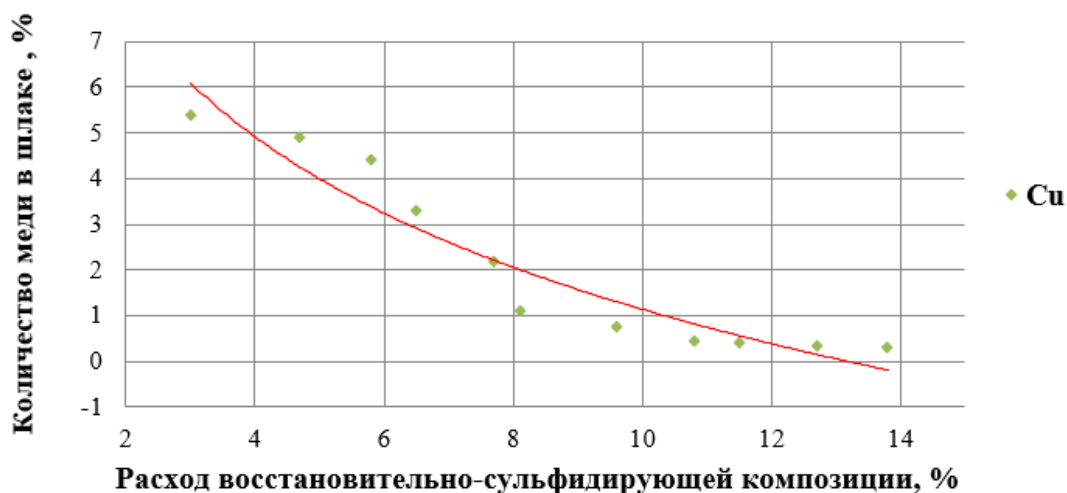


Рис. 1. Связь между увеличением расхода восстановительно-сульфидирующего состава и уменьшением количества меди в конвертерном шлаке

Заключение. В результате проведения исследования было установлено, что предлагаемая технология предварительного восстановления и сульфидирования жидкого конвертерного шлака с использованием восстановительно-сульфидирующей смеси способствует снижению содержания меди в отвальном шлаке с 0,82% до 0,45%. Данные результаты были достигнуты путем улучшения плотности и вязкости шлаков процесса конвертирования за счет восстановления магнетита и сульфидирования оксидов меди в составе шлака, с последующим обезмеживанием

предварительно переработанного конвертерного шлака, совместно с шихтовыми материалами в виде сульфидных медных концентратов в отражательной печи.

Кроме того установлено, что переработка жидкого конвертерного шлака восстановительно-сульфидирующей смесью не влияет на технологическую схему переработки медных шлаков традиционным способом. На основании этого можно сказать, что используя предлагаемый способ, отклонений от существующей технологической схемы не наблюдалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Matkarimov S.T., Nosirkhudjayev S.Q.U., Ochildiyev Q.T., Nuraliyev O.U., Karimdjонов Technological processes of receiving metals in the conditions of moderate temperatures, (2019) International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8 (12), pp. 1826 – 1828. DOI: 10.35940/ijitee.L2856.1081219.
2. Mukhamedzhanova Shoir, Matkarimov Sokhibjon Development of resource-saving technology for copper production at "Almalyk MMC" JSC, E3S Web of Conferences 525, 04001 (2024) GEOTECH-2024 DOI 10.1051/e3sconf/202452504001
3. Бердияров Б.Т., Маткаримов С.Т., Мухаметджанова Ш.А., Носирхужаев С.К. Исследования по усовершенствованию технологии обжига цинковых концентратов на цинковом заводе АО "АГМК" // "Цветные металлы", 2024, №9 С. 56-62
4. Namanci Candan, Ziyadanogullari Berrin. Effect of roasting with ammonium sulfate and sulfuric acid on the extraction of copper and cobalt from copper converter slag // Separ. Sci. and Technol, 1991, №8. С. 1147-1154.
5. Байтов А. А., Пименов Л. И., Жуков В. П., Набойченко С. С. О возможности использования природного термоантрацита при обеднении конвертерных шлаков никелевого производства. // Цветная металлургия, 1997, № 11-12.-С. 11-14.
6. Sugata M., Sugiyama T., Kondo S. Reduction of FeO in molten slags with solid carbon //Tetsu-to-hagane, 1972, v.58, № 10.-P. 1363-1375.

G'ulomova I.B., Mahkamov M.A., Islomov M.M. Karboksimetilkraxmal asosidagi bioparchalanuvchi polimer plyonkalar va ularning xossalari	125
Umrzoqov A.T., Muxiddinov B.F., Ikramov A., Vapoyev H.M., Qodirov S.M. Kompozit katalizatorlar ishtirokida atsetaldegidning ammiak bilan kondensatsiylanishi	129
Eshbaeva U.J. Tarkibida yelimlovchi moddalar bo'lgan qog'ozning bosma xossalarini tadqiq qilish	134
Хамдамова Ч.Х., Сайфиева П.О., Очилов Э.А., Абед Н.С., Камолов Т.О. Исследование влияния параметров магнитного сепаратора на эффективность извлечения магнитной фракции	137
Амонова М.М. Saproel asosidagi sorbentlarning fazaviy tahlili: rentgenodifraksiya usulida baholash	140
Яхшиева З.З., Асророва З. Методика определения ионов Fe(III) в мясных продуктах	143
Бакахонов А.А., Яхшиева З.З., Султонов М.М. Карбоплатинни электрохимический анализ килиш	145

6. Проблемные обзоры

Исаходжаева Н.А. Анализ и исследование свойств композиционных материалов и правила адаптивного конструирования	149
Озодова Ш.О. Автоматизация метрологических измерений	151
Сайдалиева У.Р. Исследование свойств композиционных материалов, используемых в целлюлозных головных уборах	154
Очиллов Э.А., Юсупов О.Г., Холбозорова Д.Н., Сайдуллаева К.А., Абдурахимов К.Г., Хушвактова У.А. Исследование механизма процесса выщелачивания огарка соляной кислоты	156
Турганбаев. Б.Б., Калбаев Б.А., Нажимов Ж.Б., Мамутов У.Б., Танатаров О.Р. Исследование возможностей применения базальта Шехжелинского месторождения в производстве строительных материалов	158
Очилдиев К.Т., Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.Т., Носирхужаев С.К. Исследования по улучшению способа обеднения шлаков медного производства, применяемые в процессе плавления в отражательной печи	161
Parmonov G., Parmonov S. "O'zbekiston texnologik metallar kombinati" AJ qoshidagi Nodir metallar va qattiq qotishmalar ishlab chiqarish zavodi volfram texnogen chiqindilarini tahlil qilish	165
Xandamov D.A., Xonqulov Sh.B., Bekmirzayev A.Sh., Xandamova D.K., Doniyorov S.A., Xudoyberdiyev A.I. Adsorbsiya muvozanat izotermalarining nazariy asoslari va tahlili	168
Курязов З.М., Кадырова З.Р., Эминов А.М., Азимов Х.Э. Альтернативный источник глинистого сырья-илистых отложений водохранилищ для производства керамических материалов	171
Yoqubov O.M. "Olmaliq KMK" AJda metall ishlab chiqarish texnogen xomashyolarining ahamiyati	174
Абдувалиева К.Х. К вопросу интенсификации технологии извлечения металлов платиновой группы	178
Egamberdiyeva Sh.U., Berdimurodov E.T., Akbarov Kh.I. Synthesis of carbon dot from pomegranate peel waste and its modification with Fe ₃ O ₄ magnetic nanoparticle	180
Daminov T.Z., Maxmarejabov D.B. Angren ko'mir konidan olingan qo'ng'ir ko'mir va kaolinli gil namunalarning moddiy tarkibi o'rganish	183
Кулдеев Е.И., Негматов С.С. Диатомиты и потенциал их использования.....	186
Rasulov A.A., Berdimurodov E.T., Akbarov Kh.I. Preparation of magnetic Fe ₃ O ₄ modified with carbon dots derived from orange peels extract and its application in Ni ²⁺ adsorption	189
Ruzmetov A.Kh., Ibragimov A.B., Atajanov B.A. Crystal structure and UV-Vis spectroscopic correlation of [triacqua-μ ₃ -oxido-hexa(3-hydroxybenzoato)triiron(III)] chloride dihydrate	192
Рахимов Х.Ю., Юсупходжаева Э.Н., Аюбова И.Х., Халматова Н.Г. Магистрал газ кувурларини коррозиядан химия килиш йўллари	195
Akbarova Z.O. Application of zardozi embroidery technique in clothing and methods for its improvement	197