

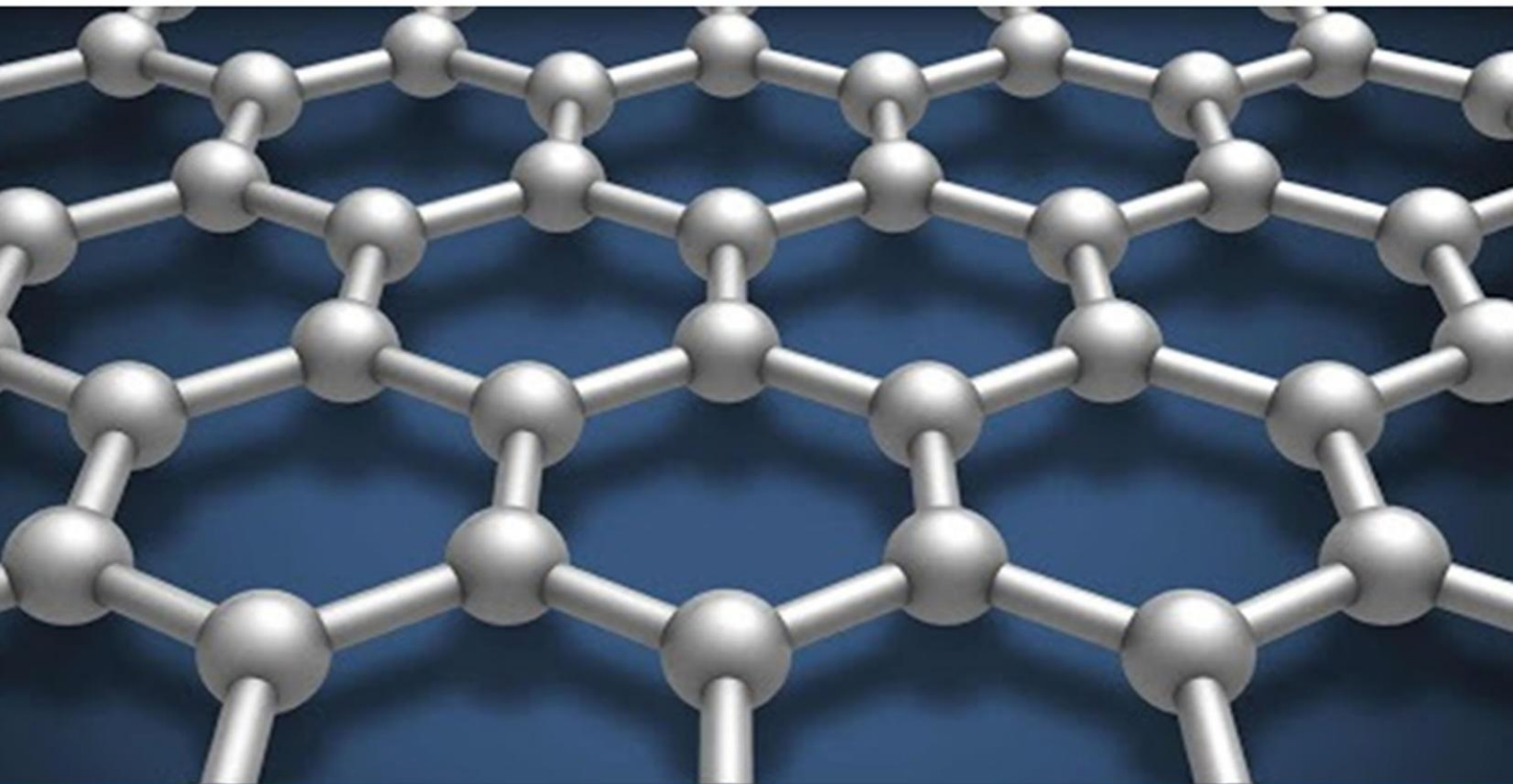
ISSN 2091-5527

№ 3/2025

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

Pass onlayn dasturi yordamida olib borilgan in siliko tahlillar natijasida natriy alginat va xitozan asosida tayyorlangan plyonka materiali UDP-N-acetylglucosamine 4-epimerase fermentiga nisbatan ingibitorlik koeffitsienti 0.911 ga tengligi aniqlandi. Bu ko'rsatkich yuqori potensial bioaktivlik darajasiga ega ekani va plyonka tarkibida ferment faoliyatini to'xtatuvchi funksional guruhlar mavjudligini ko'rsatadi. Shuningdek, CB-DOC2 dasturida o'tkazilgan molekulyar doking natijalariga ko'ra, plyonka materiali va ferment o'rtasida -7.6 kcal/mol bog'lanish energiyasi aniqlangan bo'lib, natriy alginat va xitozanning ΔG qiymatidan yuqori ekanligi kuchli va barqaror ligand-oqsil kompleksini hosil qilishini anglatadi (6-rasm). Demak, materiali UDP-N-acetylglucosamine 4-epimerase fermentifermentni ingibe qiladigan plyonka qandli diabet ta'sirida bitmaydigan yaralarga qarshi, stomatologiyada, ortopedik implantlar atrofida, yallig'lanishga moyil

joylarda, bakteriyalar va ayrim o'sma hujayralariga qarshi qo'llash imkonini beradi, bu esa ushbu plyonka materialining terapevtik va bioaktiv potensialini kengaytiradi.

Xulosa. Yuqoridagi keltirilgan natijalar asosida xulosa qiladigan bo'lsak: *Charophyceae* suv o'ti asosida molekulyar massasi 17.801 kDa ga teng bo'lgan Natriy alginat ajratib olindi. U asosida xitozan bilan plyonka materiali olindi. Fizik tadqiqot usullari (IQ va SEM)yordamida tuzilishi o'rganildi. Pass onlayn va CB-DOC2 dasturi yordamida plyonkaning epimeraza fermentiga nisbatan inhibitorlik xossasi yuqori ekanligi natijasida uni *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* kabi patogenlarga qarshi bioaktiv vosita sifatida qo'llash imkonini beradi. Shuningdek, ularning yallig'lanish va saraton kasalliklarida qo'llanilishi mumkin bo'lgan istiqbolli obyekt ekanligini ko'rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Kangjing Li, Junxiang Zhu, Guilin Guan, Hao Wu. Preparation of chitosan-sodium alginate films through layer-by-layer assembly and ferulic acid crosslinking: Film properties, characterization, and formation mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. V 122. P 485-492
2. Amina Mokeddem, Samir Benykhlef, Amine Ahmed Bendaoudi, Nacer Boudouaia, Hacene Mahmoudi and other. Sodium Alginate-Based Composite Films for Effective Removal of Congo Red and Coralene Dark Red 2B Dyes: Kinetic, Isotherm and Thermodynamic Analysis. 2023. V 15(9). P 1709;
3. Lee KY, Mooney DJ. Hydrogels for tissue engineering. *Chemical Reviews*. 2001. V 101(7). P 1869-1879
4. Eliaz I, Weil E, Wilk B. Integrative medicine and the role of modified citrus pectin/alginate in heavy metal chelation and detoxification - five case reports. *Forschende Komplementärmedizin*. 2007. V 14(6). P 358-364
5. Abdul Khalil HPS, Saurabh CK, Tye YY, Lai TK, Easa AM, Rosamah E, et al. Seaweed based sustainable films and composites for food and pharmaceutical applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. V 77. P 353-362.

УДК 669.333.4

ИССЛЕДОВАНИЕ СУЛЬФИДНЫХ И СИЛИКАТНЫХ ФАЗ В ШЛАКАХ КИСЛОРОДНО-ВЗВЕШЕННОЙ ПЛАВКИ НА СТАДИИ ШЛАКООТВАЛА

Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.Т., Носирходжаев С.К.,
Нуралиев О.У., Исмаилов Ж.Б., Акрамов У.А., Чориев Х.

Тошкент давлат техника университети

Аннотация. В работе проведено комплексное исследование шлаков кислородно-взвешенной плавки, отобранных на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК». Проанализированы микроструктура, фазовый и химический состав шлаков, а также распределение меди и второстепенных элементов. Полученные данные позволяют оценить потери металлов и направления оптимизации технологического процесса.

Ключевые слова: шлаки, кислородно-взвешенная плавка, микроструктура, фазовый состав, потери меди, сульфидные фазы, SEM-EDS, XRD, термодинамическое моделирование.

Введение. Кислородно-взвешенная плавка является одним из ключевых этапов пирометаллургического получения меди, основной целью которого является максимальное извлечение меди из концентрата в расплавленный штейн. Содержание меди в штейне может варьироваться в зависимости от состава исходной руды, типа используемой

плавильной печи, а также технологических условий процесса. Недостаточная степень извлечения меди приводит к значительным потерям металла со шлаковыми отходами, что негативно сказывается на экономической эффективности производства [1].

Для снижения потерь меди необходимо детальное понимание химического и фазового

состава как шлаков, так и штейна, формирующихся в процессе плавки. В данной работе представлены результаты комплексного исследования образцов шлака, отобранных на различных стадиях процесса кислородно-взвешенной плавки INCO на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК». Исследование проводилось с применением традиционных микроструктурных и аналитических методов, а также с использованием вычислительной термодинамики. Такой подход позволил получить более полное представление о протекающих процессах и оценить возможные направления для оптимизации технологии с целью повышения извлечения меди и минимизации её потерь со шлаком [2].

Объект исследования. Объектом исследования являются шлаковые пробы (рис.1.), отобранные с поверхности свежего шлакоотложения на шлаковом отвале медеплавильного завода АО «Алмалыкский ГМК», образующиеся в результате кислородно-взвешенной плавки по технологии INCO. Всего было отобрано восемь проб шлака с площади в несколько квадратных метров методом случайной выборки. Пробы представляют собой высокопористые материалы с различной окраской поверхности, обусловленной присутствием оксидов железа (красные пятна), меди (синие пятна) и других компонентов.

Предметом исследования являются микроструктурные особенности, фазовый и химический состав шлаков, а также распределение цветных и второстепенных элементов (Cu, Pb, Zn и др.) в твёрдой шлаковой фазе, сформировавшейся в условиях кислородно-взвешенной плавки.

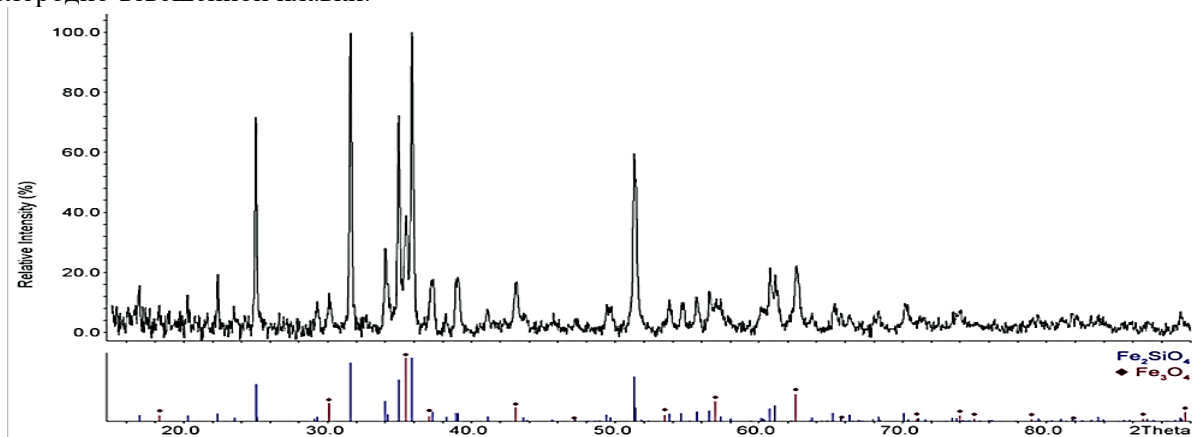


Рисунок 3. Типичная рентгенограмма (проба №5)

Из рисунка 3 видно, что другие фазы также могут присутствовать, но их точный состав определить невозможно, поскольку пики очень малы и нечетки. Было обнаружено, что в этих образцах, вероятно, присутствуют сульфидные фазы, такие как халькопирит, борнит и т. д.



Рис. 1. Некоторые образцы шлака, взятые со шлакового

На рис. 2 показана типичная структура шлака (проба № 3), полученная с использованием оптической микроскопии (LOM). Масштаб - 100 мкм.

На представленном микроструктурном изображении шлака из пробы № 3 наблюдается мелкодисперсная структура аморфного (стекловидного) матрикса с включениями более светлых фаз, предположительно сульфидной природы. Пористость шлака выражена умеренно, что может свидетельствовать о газовыделении в процессе плавки. Светлые включения распределены неравномерно и могут быть ассоциированы с остатками капель штейна или кристаллитами оксидных фаз (например, магнетита), осевших в процессе охлаждения. LOM-изображение образца № 3 показано на рисунке 2 как пример типичной микроструктуры шлака

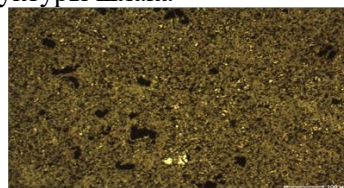


Рис. 2. Типичная структура шлака (проба №3)

Типичная рентгенограмма осажденного шлака (образец № 5) показана на рисунке 3. Она выявляет в основном фазы фаялита (синяя) и магнетита (красная).

На рисунке представлена типичная микроструктура, обнаруженная в образце №10. Этот образец содержит значительное количество SiO₂, скорее всего, нерастворенных частиц флюса, что можно увидеть на рисунке 6. Фазы, отмеченные как а и б, представляют собой

сложные силикатные фазы со следующим приблизительным составом (определенным с помощью SEM EDS): $Si_{23}Fe_{13}Al_4Ca_2MgKO_{69}$ и $Si_{25}Fe_7K_2Al_4MgCaO_{68}$ соответственно.

Сводная информация о фазах, обнаруженных в образцах шлака с помощью SEM EDS и XRD-анализа, представлена в таблице 1.

Как видно из таблицы 2 большинство из них включает фаялит, сульфиды меди, железа и

магнетит. Сокращения в скобках, указанные в столбце «Сульфиды Cu-Fe», означают: P – пирротин ($Fe_{(1-x)}S$), C - халькозин (Cu_2S), R - роксбиит (Cu_9S_5), B-борнит (Cu_5FeS_4), M - марказит (FeS_2), N - нукундамит ($Cu_{3,4}Fe_{0,6}S_4$). Столбец «Стекло» представляет собой стеклообразную фазу, обнаруженную только с помощью SEM EDS. В столбце «Другие фазы» указаны другие оксидные и/или сульфидные фазы, обнаруженные в образцах.

Таблица 1.

Фазы, обнаруженные в образцах № 1–8 с помощью SEM EDS и XRD.

проба	Fe_2SiO_4		Сульфиды Cu-Fe		Fe_3O_4		«стекло»	Другие фазы	
	SEM	XRD	SEM	XRD	SEM	XRD	SEM	SEM	XRD
№1	×	×	×	×(P)	×	×	×	–	–
№2	×	×	×	×(C)	×	×	×	сульфид Pb	–
№3	×	×	×	×(C)	×	×	×	сульфид Pb и Zn	–
№4	×	×	×	×(RMC)	×	–	×	сульфид Pb и Mo	–
№5	×	×	×	–	×	×	×	сульфид Pb и Zn	$CuFeO_2$
№6	×	×	×	×(MB)	×	–	–	сульфид $KAlSi_2O_6$	$CuFe_2O_4$
№7	–	×	–	–	–	×	×	SiO_2 , сульфид Zn	SiO_2
№8	×	×	–	×(N)	×	×	×	сульфид Zn	–

Пример оценки фазового состава показан на рисунке 4, где изображены (а) СЭМ-изображение и (б) EDS-карта распределения элементов в пробе № 4. Масштаб - 100 мкм.

На СЭМ-изображении (а) представлена микроструктура шлака с выраженным слоистым строением, свидетельствующим о направлении кристаллизации и возможной текучести шлаковой массы в процессе остывания. Светлые участки на изображении могут соответствовать включениям фаз с высоким атомным номером - предположительно оксидов железа или остатков сульфидных капель.

Карта элементного распределения (б) показывает наличие в структуре шлака элементов Al, Si, Fe, K, S и O. Преобладание кислорода (O) и кремния (Si) соответствует основному аморфному шлаковому состоянию. Наличие железа (Fe) указывает на присутствие магнетитовых или других железосодержащих фаз. Выявленная локализация серы (S) в отдельных участках подтверждает присутствие сульфидных включений, что может быть источником потерь меди. Элементы K и Al могут быть связаны с остатками флюсов или минералогическими примесями концентрата.

Различные фазы отмечены разными цветами, а их средние спектры, определенные методом SEM EDS, приведены в таблице 2.

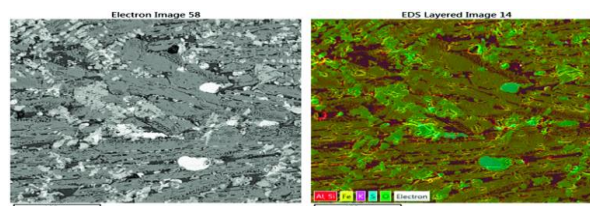


Рисунок 4. СЭМ-изображение (а) и EDS - карта фазового состава (б) пробы №4

Из рисунка установлено, что количество фаялита составляет 75,2% площади изображения. Фаза фаялита также может содержать Ca, Mg, Zn и т.д. Фаза, называемая «стеклом», наблюдалась между большими кристаллами фаялита (темные области на рисунке 4 (б)). Его состав богат SiO_2 и содержит значительные количества других элементов (Fe, K, Al, Ca).

Поскольку эта фаза не была обнаружена в рентгеноспектральном спектре, несмотря на её значительный объём (12,4% площади образца), её приняли за стеклообразную фазу. Следующая фаза, называемая «сложные сульфиды», представляет собой различные сульфиды, наблюдаемые в образце. Видно, что определение фазы магнетита наиболее сложно (она видна только на рис. 4 (а) в виде ярких рассеянных кристаллов неправильной формы), но сульфидные фазы отчетливо видны обеих рисунках (а) и (б). Фаза «Магнетит» содержит Si и Cu, что обусловлено перекрытием участков магнетита и прилегающих участков, занятых фаялитом и другими фазами. Действительно, магнетитовая фаза в шлаках содержала Al, Ti и Cr.

Таблица 2

Фазовый состав методом SEM EDS для образца №4

Фаза	метка	Выход, %	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn
Фаялит	Fe ₂ SiO ₄	75,2	1,16	13,87	0,25	0,48	0,49	27,8	0,1	0,2
Стекло	FeSiO	12,4	5,9	16,56	0,86	5,60	2,17	12,6	0,28	0,21
Комплекс сульфидов	FeSZn	2,4		1,17	38,8			27,1	4,6	16,15
	FeS	7,5	1,25	3,84	30,2	0,69	0,43	33,0	3,46	0,58
	CuFeS	0,1	0,75	2,69	25,7	0,27	0,33	16,5	30,7	
Магнетит	Fe ₃ O ₄	2,1	2,34	4,75	4,09	0,36	0,49	35,7	1,82	0,41

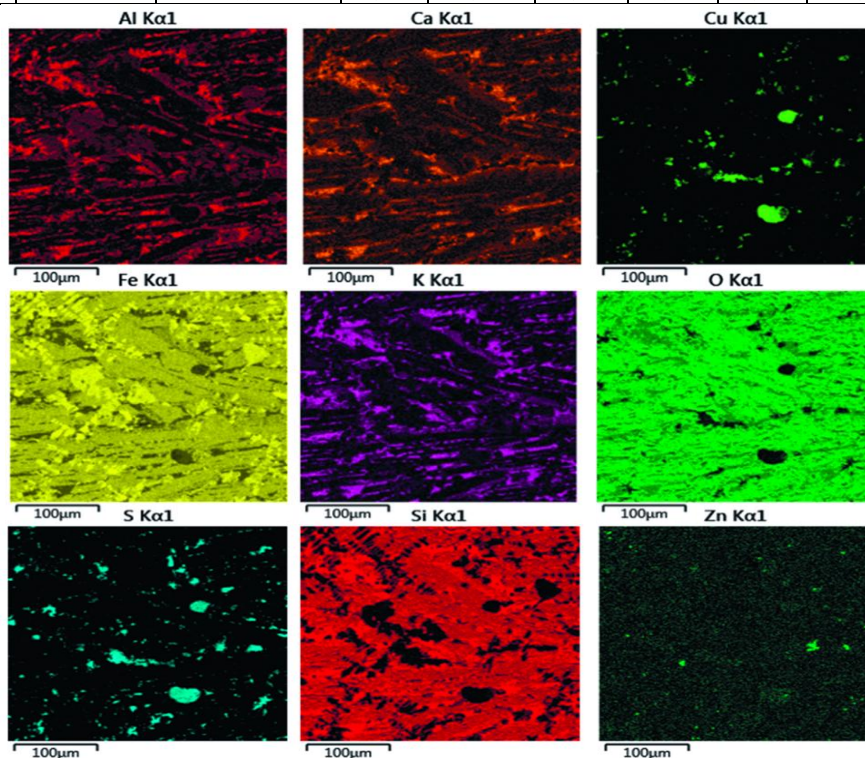


Рисунок 5. Картирование элементов той же области образца № 4

Картирование элементов, выполненное для той же площади образца, представлено на рисунке 5. Элементы в пробе № 4: Al, Ca, Cu, Fe, K, O, S, Si, Zn. Масштаб - 100 мкм.

Фазу магнетита можно оценить путем сравнения карт Si и Fe. На карте Si кристаллы магнетита темные, а на карте Fe эти участки светлее остальной части карты. Видно, что процентное содержание магнетитовой фазы значительно превышает определенное по фазовому картированию (таблица 2). В результате процентное содержание фаялита должно быть меньше, чем определено в табл. 2.

Поведение второстепенных элементов, таких как Pb, Zn, Ti и т.д., в образцах шлака также анализировали методом SEM EDS. Свинец (Pb) был обнаружен только в сульфидной фазе (например, рисунок 4), в отличие от ссылки [3], где сообщалось, что около 20% Pb должно переходить в шлаковую фазу, в то время как Zn присутствовал главным образом в фаялите, а также в сульфидной фазе (рис. 6,7). Распределение Pb и Zn подтверждено термодинамическими расчётами.

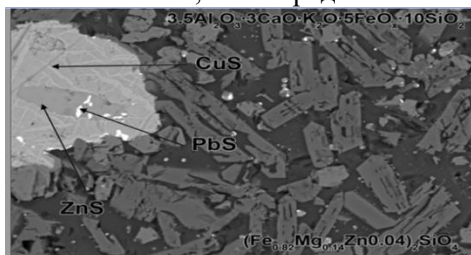


Рисунок 6. Пример присутствия сульфидов свинца (Pb) и цинка (Zn) в образце шлака №3

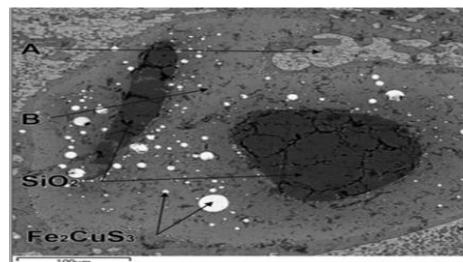


Рисунок 7. Пример микроструктуры образца №7

Было обнаружено, что Ti и Cr присутствуют только в фазе магнетита, фазе типа шпинели. Это было подтверждено и термодинамическими расчетами. В ряде образцов Mo оказался связан с сульфидной фазой, а As, Ba, Mn - со шлаковыми фазами (например, фаялитом, стеклофазой и др.).

Обсуждение результатов исследования. Результаты микроструктурного, фазового и химического анализа шлаковых проб, отобранных с поверхности свежего шлакоотложения на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК», показали, что шлаки характеризуются высокой пористостью, аморфным стекловидным матриксом и наличием включений сульфидной и силикатной природы. Обнаруженные в составе шлаков сульфидные фазы (включая халькопирит и борнит), а также остатки штейна свидетельствуют о неполном извлечении меди в процессе плавки. Значительное содержание нерастворённого SiO₂ указывает на неполную реакцию флюса. Анализ поведения второстепенных элементов показал, что свинец концентрируется преимущественно в сульфидной фазе, в то время как цинк присутствует как в фаялитовой, так и в сульфидной составляющей, что подтверждается термодинамическими расчетами. Эти данные указывают на необходимость оптимизации условий плавки для снижения потерь меди и других ценных компонентов со шлаком.

Заключение. В ходе проведённого исследования были проанализированы восемь образцов шлака, отобранных с поверхности свежего шлакоотложения на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК» после

кислородно-взвешенной плавки по технологии INCO. Экспериментальные данные, полученные методами оптической микроскопии (LOM), сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом (SEM EDS) и рентгенофазового анализа (XRD), позволили детально охарактеризовать микроструктуру и фазовый состав исследуемых образцов.

Установлено, что шлаки характеризуются высокой пористостью, аморфным стекловидным матриксом и наличием различного рода включений - от сульфидных фаз (предположительно халькопирита, борнита) до силикатов, богатых железом, алюминием, калием и другими элементами. В ряде образцов обнаружены значительные количества нерастворённого SiO₂, что указывает на неполную реакцию флюса в процессе плавки. Поведение второстепенных элементов (Pb, Zn, Ti и др.) было проанализировано с использованием SEM EDS и сопоставлено с термодинамическими расчетами. Выявлено, что свинец преимущественно концентрируется в сульфидных фазах, а цинк распределяется как в фаялите, так и в сульфидной составляющей.

Полученные результаты позволяют глубже понять особенности формирования шлаковой фазы и механизмы потерь меди и других элементов в процессе кислородно-взвешенной плавки. Дальнейшее применение термодинамического моделирования и микроструктурного анализа может способствовать оптимизации технологического процесса и снижению металлургических потерь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. М. Сайназаров, С. Т. Маткаримов, Ш. А. Мухаметджанова, С. К. Но-сирходжаев Практические исследования разработки эффективной технологии переработки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи с целью увеличения выхода меди в штейн. / Журнал Цветные металлы, №5, 20225. С. 25-33.
2. K.Ochildiev, S.Matkarimov, S. Mukhametdzhanova, S.Nosirkhujaev, J. Ismailov, A. Nizamova Thermodynamic principles of the process of reduction of metal oxides in copper industrial converter slags using clinker// E3S Web of Conferences 632, 04008 (2025) The 5th Edition of Oriental Days for the Environment “Green Lab. Solution for Sustainable Development” (JOE5) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202563204008>
3. Ким В. В., Юсупходжаев А. А., Сайназаров А. М. Определение оптимального режима кислородно-факельной плавки сульфидных медных концентратов // Горный журнал. 2009. № 8. Специальный выпуск. С. 68–71.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокompозитов

Негматов Ж.Н., Хурсанов А.Х., Негматов С.С., Негматова К.С., Абед Н.С., Рахимов Х.Ю., Эрнийёзов Н.Б. Разработка эффективных составов композиционных химических флотореагентов-вспенивателей для извлечения цветных и благородных металлов в процессе флотации медно-молибденовых руд	3
Абед Н.С., Ходжаева Д.Н., Рузиева Б.Ю., Шамсиева С.С. Модификация связующих для производства огнестойких древесно-пластиковых и древесно-волоконистых плитных материалов	6
Панжиев О.Х., Негматов С.С., Абед Н.С., Талипов Н.Х., Туляганова В.С. Влияние микрокремнезема на свойства тампонажного раствора	7
Abdisattorov J.A., Mamatov U.B., Alimov A.F., Taniyev O.U., Akbarov Kh.I., Berdimurodov E.T. Synthesis of ionic liquids based on diphenyl amine and phosphoric acid	10
Турабджанов С.М., Кодиров О.Ш., Кучкарова Н.Х., Шамсуддинов Л.О. Модификацияланган КУ-2-8 катион алмашинувчи полимерининг термик мустахкамлигини ўрганиш	13
Муяссарова Р.И., Кораев С.Э., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Синтез амфифильного кремнезема и исследование его капиллярно-пористой структуры	17
Haydarova S.S., Xaitbayev A.X. Natriy alginat asosida biopolimer plyonka materiallar olish	21
Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.Т., Носирходжаев С.К., Очилдиев К.Т., Нуралиев О.У., Исмаилов Ж.Б., Акрамов У.А. Исследование сульфидных и силикатных фаз в шлаках кислородно-взвешенной плавки на стадии шлакоотвала	24

2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

Rizaeva N.M., Saydumarov B.M. Study of the state of the steel surface at the interface between metal and scale during heating	29
Toshmatova Sh.T., Tashbulatov Sh.B., Zufarova N.N., Saidxodjayeva Sh.N., Tashxodjayeva K.U. Yuqori marganetsli po'latning Ti-Ca-N elementlari bilan kompleks legirlanishining yeyilishga bardoshlilik ko'rsatgichlariga ta'siri	31
Абед Н.С., Негматов С.С., Нормуродов А.А., Туляганова В.С., Джабаров Б.Т., Бозорбоев Ш.А. Методика определения электрических и физико-механических свойств композиционных эпоксидных полимерных материалов и покрытий на их основе с высокими электрофизическими и триботехническими свойствами	33
Abdullayev F.S., Axmadaliyev Sh.Sh., Xasanov K.A. Kompozitsion materiallarni siqib chiqarishli shtamplash texnologik jarayonining matematik modeli asoslari	36
Eshbaeva U.J. Tarkibida yelimlovchi modda bo'lgan qog'ozning fizik-mexanik xossalarini tadqiq qilish	38
Иргашев А., Эгамбердиева Н.А. Работоспособность баббитового покрытия в подшипниках скольжения	41
Каршиев М., Файзиев М.М. Ерга ишлов бериш машина деталларини умрбокийлигини ошириш мақсадида газ алангаси усулида пуркаб, эритиш орқали ейилишбардош коплама олиш	44
Негматов С.С., Рузиева Б.Ю., Ходжаева Д.Н., Абед Н.С., Шамсиева С.С. Изучение влияния различных минеральных антипиренов на огнестойкость древесно-пластиковых и древесноволокнистых плитных материалов	47

3. Разработка и технология получения композиционных материалов

Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Алимбабаева З.Л. Разработка эффективных пористых материалов для очистки сточных вод от нефтепродуктов	49
Холбозорова Д.Н., Хамдамова Ч.Х., Очиллов Э.А., Тошпулатова Г.Р., Дехканбаева С.А. Разработка способов повышения извлечения германия при пирометаллургической переработке продуктов сжигания углей	51