

## **АННОТАЦИЯ**

диссертационной работы на тему:

### **«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБЕДНЕНИЯ ШЛАКОВ АВТОГЕННОЙ ПЛАВКИ МЕДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ»,**

представленной на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 8D07204 – «Металлургическая инженерия»

### **ДЮСЕБЕКОВОЙ МАРАЛ АДЕЛЬБЕКОВНЫ**

#### **Цель работы.**

**Целью диссертационной работы** является разработка мероприятий по оптимизации комплексной переработки сырья на БМЗ, с возможностью использования существующего оборудования, без дорогостоящих капитальных затрат.

#### **Задачи исследования**

- провести патентно-информационный поиск и анализ литературы по существующим способам обеднения медных шлаков;
- провести исследование физико-химических характеристик шихты, флюсов и шлаков медного производства для выявления возможных причин потери меди со шлаками;
- провести термодинамический анализ взаимодействия компонентов шлака углеродом;
- выполнить математическое планирование экспериментов для оценки влияния различных показателей на потери меди со шлаком;
- провести лабораторные опыты обеднения шлаков в глубоко восстановительных условиях;
- провести промышленные опыты по изучению поведения дополнительного источника теплоты;
- усовершенствовать конструкцию двухзонной печи Ванюкова для эффективного обеднения шлаков;
- провести предварительные технико-экономические расчеты показателей обеднения шлаков в двухзонной печи Ванюкова.

На основании проведенной исследовательской работы, представленные методики и решаемые задачи в настоящей диссертационной работе направлены на достижение общей поставленной цели.

#### **Объектом исследований являются:**

Объект исследования – концентраты, флюсы и шлаки автогенной плавки медных сульфидных концентратов корпорации ТОО «Казахмыс Сметлинг» (БМЗ).

### **Методы модернизации объектов:**

– методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопией (SEM) установлено, что во флюсовых рудах, применяемых на БМЗ высокое содержание  $Al_2O_3$ , который связывает кремнезем в различные алюмосиликаты:  $Al_2SiO_5$ ;  $(K,Na)AlSi_3O_8$ ,  $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ;  $KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$ ; и значительно снижает флюсующую способность этих руд.

- Получены новые данные по поведению дополнительного источника теплоты (угля) при плавке на БМЗ.

- Получены новые данные по восстановлению шлака в глубоко-восстановительных условиях при  $P_{O_2} < 10^{-10}$  атм.

### **Методы исследования объектов**

К числу основных методов исследования и анализов, примененных при выполнении диссертационной работы, относятся:

- критический анализ патентно-информационных источников;

- комплекс современных методов анализа, таких как:

1. химические методы анализа (на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima 8300 DV, США, PerkinElmer; титриметрический метод);

2. полуколичественный рентгенофазовый (дифрактометр D8 Advance (Bruker AXS GmbH);

3. термический анализ шлаков на приборе STA 449 F3 Jupiter, обработка полученных результатов производилась посредством программного обеспечения NETZSCH Proteus.;

4. электронно-зондовой микроанализатор JEOL JXA 8230;

5. петрографический анализ на прямом промышленном микроскопе OLYMPUS BX-51 поляризационный «Olympus» (Япония);

- термодинамические расчеты выполнены на программном комплексе HSC – 5 (Outocumpu Ou).

### **Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту**

– результаты исследований по изучению физико-химических характеристик шихты, флюсов и шлаков медного производства;

– результаты термодинамического анализа взаимодействия компонентов шлака с углеродом угля;

– определено влияние различных факторов на содержание меди в шлаках;

– результаты лабораторных испытаний по обеднению шлаков;

– результаты промышленных испытаний;

– предложена усовершенствованная конструкция двухзонной печи Ванюкова;

– результаты технико-экономических расчетов.

Работа выполнена в лаборатории «Пирометаллургия тяжелых и цветных металлов» АО «ИМиО», г. Алматы.

### **Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской и работы**

В настоящее время на территории Земли накопилось более чем 24,6 млн. тонн отходов, содержащих медь и образовавшихся в результате техногенной деятельности. Это объясняется тем, что производство цветных металлов методом пирометаллургии характеризуется значительным образованием шлаков, по сравнению с долей металла, извлекаемого в процессе плавления. Иногда при плавке количество образующихся шлаков превышает выход ценных промышленных продуктов, более чем в десять раз. Сообщается, что ежегодно образуется более 20 миллионов тонн медеплавильных шлаков, а запасы шлаков в Казахстане достигают 130 миллионов тонн. На каждую тонну полученного штейна, образуется около 2,2 тонны шлака. В твердых отходах горно-обогатительных и металлургических предприятий содержится около 2 млн.т. меди, что уже соизмеримо с разведанными и оцененными мировыми запасами меди, которые составляют 650 млн. т. Среднее содержание в них цинка равно 2%, меди 0,5%, железа 35%, свинца 0,8%.

Для решения проблемы переработки металлургических шлаков и получения металлизированной фазы и обедненной по металлам силикатной части необходимо создать процесс с глубоким восстановлением шлаковых расплавов. Однако, до настоящего времени, данная задача не была полностью решена. Чтобы создать новые технологии переработки шлаков цветной металлургии, необходимо провести комплекс физико-химических исследований, используя современную научную аппаратуру.

В связи с вышеизложенным, необходимо проведение научных исследований, направленных на изучение главных причин потерь меди со шлаками, а также разработки эффективных способов, позволяющих более полно извлекать ценные компоненты.

### **Описание основных результатов исследования**

В первом разделе установлены основные причины потерь меди со шлаками, также на основании современного состояния производства меди, краткого анализа автогенных процессов плавки сульфидного медьсодержащего сырья и глубокого анализа существующих способов обеднения шлаков проведено обоснование и выбор направления научных исследований.

Во втором разделе изучены характеристики химического состава шихты, пробы шлака, теплотворная способность дополнительных источников тепла, распределение меди и драгоценных металлов, а также причины и факторы, влияющие на формирование жидких фаз и потери меди со шлаком.

В третьем разделе исследованы физико-химические характеристики флюсовой руды, выявлено высокое содержание  $Al_2O_3$ , который связывает кремнезем в различные алюмосиликаты:  $Al_2SiO_5$ ;  $(K,Na)AlSi_3O_8$ ,

$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ;  $\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$ ; и значительно снижает флюсующую способность этих руд.

В четвертом разделе приведен термодинамический анализ взаимодействия компонентов шлака углем. Проведено математическое планирование экспериментов, получено уравнение регрессии:  $Y = 0,769 + 0,058X_1 - 0,033X_2 - 0,158X_3 + 0,031X_1X_2X_3$ , показавшее, что наиболее значимым фактором является температура. Проведенные лабораторные опыты показали, что обеднение шлаков в глубоко восстановительных условиях приводит к снижению содержания меди и магнетита в шлаках. Оптимальная температура процесса составляет  $1300^\circ\text{C}$ .

В пятом разделе приведены результаты опытно-промышленных испытаний, свидетельствующие о том, что не весь уголь сгорает с выделением теплоты, часть его вступает в эндотермические реакции взаимодействуя с оксидами металлов:  $\text{C} + \text{MeO} = \text{CO} + \text{Me} - \Delta H$  и восстанавливая их.

В шестом разделе предложена конструкция двухзонной печи Ванюкова с электрообогреваемой восстановительной зоной. Приведены результаты лабораторных экспериментов, подтверждающих целесообразность данной усовершенствованной конструкции. восстановительная переработка способствует значительному обеднению по меди с 0,81 % до 0,043 %. Также происходит восстановление  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  углеродом – до железа металлического. Степень восстановления железа и перехода его в металлизированную фазу в данном эксперименте составила 30-50%.

Также предложено специализированное устройство для подачи восстановителя обеспечивает его равномерное распределение и эффективное взаимодействие с шлаком. Данный способ препятствует процессу переокисления, сокращает выбросы пыли, связывает избыток кислорода дутья.

В седьмом разделе представлены расчеты технико-экономических показателей обеднения шлаков с применением данных нововведений. Результаты данных расчетов показали, что способ восстановления в предлагаемой двухзонной печи, может способствовать улучшению извлечения ценных металлов и увеличению прибыльности по сравнению с текущими методами извлечения, которая составит более 40 млн.дол.США.

### **Обоснование новизны и важности полученных результатов**

**Новизна темы** заключается в разработке технологии обеднения шлаков автогенной плавки медных сульфидных концентратов, при использовании текущего типа сырья (концентраты, флюсы, уголь) на БМЗ, с минимальными затратами на реконструкцию имеющегося оборудования.

### **Новые научные результаты заключается в следующем:**

- Впервые методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопией (SEM) установлено, что во флюсовых рудах, применяемых на БМЗ высокое содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , который связывает кремнезем в различные алюмосиликаты:  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ;  $(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ,

$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ;  $KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$ ; и значительно снижает флюсующую способность этих руд.

- Получены новые данные по поведению дополнительного источника теплоты (угля) при плавке на БМЗ.

- Получены новые данные по восстановлению шлака в глубоковосстановительных условиях при  $P_{O_2} < 10^{-10}$  атм.

#### **Технологическая новизна исследований:**

Предложена усовершенствованная принципиальная конструкция печи Ванюкова, предусматривающая наличие двух основных зон: зоны плавления и зоны восстановления. Зона восстановления, в свою очередь, оборудована системой подачи восстановителей, через фурмы. Ключевым моментом является обеспечение низких значений  $P_{O_2}$  при которых протекает глубокое восстановление и контроль над температурным режимом, что позволит достигать высокой степени извлечения меди из шлака.

#### **Соответствие направлениям развития науки или государственным программам**

Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению развития науки «Экология, окружающая среда и рациональное природопользование»; соответствует специализированному научному направлению «Глубокая переработка минеральных и органических ресурсов» национального научного совета при Правительстве Республики Казахстан.

Область исследования в соответствии с Классификатором научных направлений «Инжиниринг и технологии; Инжиниринг материалов; Metallургия».

Диссертационная работа выполнялась в рамках проекта программно-целевого финансирования научных исследований на 2019-2021 годы «Разработка технологии автогенной плавки сульфидного медного сырья в условиях совмещения в расплаве зон загрузки шихты, введения окислителя и тепловыделения» по теме: «Изучение теплового режима автогенной плавки в печи Ванюкова с использованием дополнительного топлива при подаче его через фурмы в жидкую ванну расплава» (AP08855511).

#### **Личный вклад автора**

Личный вклад автора заключается в изучении исходных материалов, используемых в автогенной плавке, выполнении лабораторных экспериментов, изложенных в диссертационной работе, включая, методик экспериментальных исследований, участие в промышленных испытаниях, анализ и оформление результатов в виде публикаций, научных докладов на международных конференциях и патента.

#### **Апробация работы**

*По материалам диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, из них 3 статьи в международных рецензируемых научных журналах, входящие в БД Scopus/Web of Science:*

1. M.Dyussebekova, B. Kenzhaliyev, S. Kvyatkovskiy, E. Sit'ko, D.Nurkhadianto. The main reasons for increased copper losses with slags from Vanyukov Furnace. *Metalurgija*. Vol 60. 2021. P. 309-312, Procentile 37%.

2. Dyussebekova, M.; Kenzhaliyev, B.; Kvyatkovskiy, S.; Kozhakhmetov, S.; Semenova, A.; Sukurov, B. Study of the Effect of Fluxing Ability of Flux Ores on Minimizing of Copper Losses with Slags during Copper Concentrate Smelting. *Metals* 2022, 12, 1240. <https://doi.org/10.3390/met12081240>, Procentile 75%, Q2.

3. Ye. A. Ospanov, S. A. Kvyatkovskiy, S. M. Kozhakhmetov, L. V. Sokolovskaya, A. S. Semenova, M. Dyussebekova & A. A. Shakhlov. Slag heterogeneity of autogenous copper concentrates smelting. *Canadian Metallurgical Quarterly* 2022, DOI: 10.1080/00084433.2022.2119495, Procentile 47%, Q 4.

*Статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК:*

1. Kenzhaliyev B.K., Kvyatkovskiy S.A., Dyussebekova M.A., Semenova A.S., Nurhadiyanto D. Analysis of Existing Technologies for Depletion of Dump Slags of Autogenous Melting. *Complex Use of Mineral Resources* 2022, 4, 323. DOI: 10.31643/2022/6445.36

*Труды международных научно-практических конференций:*

1. M.Dyussebekova «Processing of Various Copper Sulfide Concentrates by Vanyukov Smelting». *Proceedings of the International Conference on Engineering, Technology and Vocational Education (ICETVE 2020)*, Malaysia, 7-th November 2020. P.70-71

2. Dyussebekova M.A., Kvyatkovskiy S.A., Kenzhaliyev B.K. & Didik Nurhadiyanto. «Dependence of the increased content of copper and magnetite in the slags on the composition of the smelting products». *Proceedings of the International Innovation Arsvot Malaysia (IAM2021)*, 10-th of April 2021. P. 387

3. M.A. Dyussebekova, S.A. Kvyatkovskiy, L.V. Sokolovskaya, A.S. Semenova. «Effective methods of depletion of liquid slags of autogenous smelting of copper sulfide concentrates». *Proceedings of the international scientific and practical conference “Satpayev Readings - 2022. Trends in modern scientific research”* April 12, 2022, pp. 1325-1329, ISBN 978-601-323-291-1.

4. M.A. Dyussebekova «The process of Depletion of Copper Smelting Slag in a Two-zone PV Furnace». *Presentation Materials of VI International Practical Conference “Challenges of Science”* 15-16 November, 2023, pp. 532-541, ISBN 978-601-323-356-7.

*Патенты*

Дюсебекова М.А., Кенжалиев Б.К., Кожахметов С.М., Квятковский С.А., Ситько Е.А., Семенова А.С. Печь для непрерывной плавки сульфидных материалов в жидкой ванне. № 8335 от 05.05.2023.

Суммарное личное участие автора составило 100%.

