

NEWS
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 177 – 183

V. M. Shevko¹, D. K. Aytkulov², B. B. Atamkulov³, K. S. Izbaskhanov⁴, M. A. Naimanbaev⁵

¹South-Kazakhstan state university named after M. Auevov, Shymkent, Kazakhstan,

²I. Satpaev Institute of Geological Sciences, Almaty, Kazakhstan,

³Ministry of Defense and Aerospace Industry of the Republic Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,

⁴JSC "Tau-Ken Samruk", Astana, Kazakhstan,

⁵JSC "Institute of Metallurgy and Enrichment", Almaty, Kazakhstan.

E-mail: shevkovm@mail.ru, dos.ait.58@mail.ru

COMPLEX ELECTROTHERMIC PROCESSING OF THE POOR OXIDE ORE OF THE ACHISAY DEPOSIT

Abstract. In view of the obvious shortcomings in the waelz processing of oxide ores (significant coke consumption, long duration, formation of a clinker, irrationality of ore processing with $\leq 5\%$ Zn), the problem in zinc metallurgy is the complex processing of poor oxide ores.

In the article are given results of researches on processing of poor carbonate ore of Achishai deposit containing 3.2-5.5% Zn. The research were carried out using the thermodynamic modeling method using the HSC-5.1 (based on the principle of minimum Gibbs energy) software package and the electric melting in an arc furnace. It was found that the equilibrium interaction of ore with carbon is characterized by the formation of FeSi ($T \geq 1500$ °C), Si ($T \geq 1600$ °C), calcium carbide ($T \geq 1800$ °C) and Zn gas ($T \geq 800$ °C); The equilibrium degree of extraction of silicon from ore into the alloy at 87-94% is observed at 1900-2100 °C, calcium in CaC₂-72-77.2% at 2000-2100 °C, zinc in gas 95-99.9% at 1700 -2100 °C, Ca in CaC₂-72-77.2% at 2000-2100 °C, Zn in gas 95-99.9% at 1700- 2100 °C. Electric melting of ore in a mixture with coke allows obtaining a ferroalloy with a content of 12-19% Si and calcium carbide with a displacement of 210-260 l/kg; In the presence of quartzite, the Si content in the alloy increases to 32-33%, the carbide in carbide in this case is 150-190 l / kg. The degree of extraction of zinc in sublimation at electric melting was 97-99%. The proposed method for processing oxide zinc ore allows us to extract not only Zn, Pb Cd, but also Fe, Si, Ca. Thus, the degree of integrated use of raw materials is significantly increased.

Key words: poor oxide ores, recovery, thermodynamic modeling, electric smelting, ferroalloy, calcium carbide, zinc sublimes.

УДК 669.052

В. М. Шевко¹, Д. К. Айткулов², Б. Б. Атамкулов³, К. С. Избасханов⁴, М. А. Найманбаев⁵

¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

²Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

³Министерство оборонной и аэрокосмической промышленности РК, Астана, Казахстан,

⁴АО «Тау-Кен Самрук», Астана, Казахстан,

⁵АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан

КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА БЕДНОЙ ОКСИДНОЙ РУДЫ АЧИСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

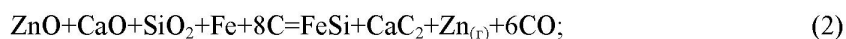
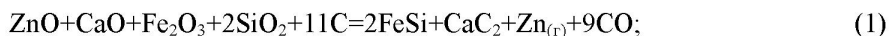
Аннотация. В виду очевидных недостатков вельцевания оксидных руд (значительный расход кокса, большая продолжительность, образование отвального клинкера, нерациональность переработки руды с $\leq 5\%$ Zn) проблемой в металлургии цинка является комплексная переработка бедных оксидных руд. В статье приводятся результаты исследований по переработке бедной карбонатной руды месторождения Ачисай,

содержащей 3,2-5,5%Zn восстановительно-возгоночной плавкой. Исследования проведены методом термодинамического моделирования с использованием программного комплекса HSC-5.1 (основанного на принципе минимума энергии Гиббса) и электроплавкой в дуговой печи. Найдено, что равновесное взаимодействие руды с углеродом характеризуется образованием FeSi ($T \geq 1500$ °C), кремния ($T \geq 1600$ °C), карбида кальция ($T \geq 1800$ °C) и газообразного цинка ($T \geq 800$ °C); Равновесная степень извлечения кремния из руды в сплав на уровне 87-94% отмечается при 1900-2100°C, кальция в карбид кальция-72-77,2% при 2000-2100 °C, цинка в газ 95-99,9% при 1700-2100°C. Электроплавка руды в смеси с коксом позволяет получить ферросплав с содержанием 12-19% Si и карбид кальция литражом 210-260 л/кг; в присутствии кварцита содержание Si в сплаве возрастает до 32-33%, литраж карбида при этом составляет 150-190 л/кг. Степень извлечения цинка в возгоны при электроплавке составила 97-99%. Предлагаемый способ переработки оксидной цинковой руды позволяет извлечь в продукцию не только цинк, свинец, кадмий, но также и железо, кремний, кальций. Тем самым значительно повышается степень комплексного использования сырья.

Ключевые слова: бедные оксидные руды, восстановление, термодинамическое моделирование, электроплавка, ферросплав, карбид кальция, цинковые возгоны.

При добыче шахтным способом оксидной цинксоодержащей руды Ачисайского месторождения в отвалы было складировано более 1 млн.т. некондиционной руды с невысоким содержанием цинка. Основным методом переработки оксидных цинксоодержащих руд является вельцевание, которое проводится во вращающихся печах в присутствии 46-49% кокса от массы руды (или смеси руды и шлака) [1]. Несмотря на довольно высокое извлечение металлов из сырья (93-94 % Zn, 96-98%Pb) и опубликованные изобретения, позволяющие улучшить технико-экономические показатели процесса вельцевания [2-3], этот метод характеризуется большей продолжительностью (2-3 ч), образованием отхода - клинкера, выход которого составляет 51-59% от массы шихты. С клинкером кроме этого теряется до 15-30% кокса [1]. Вельцеванием экономически нецелесообразным становится переработка сырья с содержанием $Zn < 5\%$ [1, 4-6]. Гидрометаллургические методы (например, выщелачивание раствором серной кислоты) позволяет извлечь цинк до 90%. Однако при этом формируется отвальный кек [7-11].

В статье приводятся результаты исследований комплексной переработки бедной Ачисайской руды (БАР) с низким содержанием Zn на основе нового способа, позволяющего получать, в соответствии с [12], из руды ферросплав, карбид кальция с одновременной отгонкой цинка, в соответствии с реакциями:



которые с термодинамической точки зрения становятся возможны соответственно при температуре 1452 и 1664К.

Методика. Сырье. Термодинамическое моделирование взаимодействия бедной руды месторождения Ачисай проводилось с использованием программного комплекса HSC-5.1, разработанного финской металлургической компанией Outokumpu [13]. Разработчики программного комплекса HSC-5.1 Chemistry (Outokumpu) основывались на идеологии консорциума SGTE (Scientific Group Thermodata Europe), которая занимается созданием, поддержкой и распространением высококачественных баз данных, предназначенных для расчета равновесного состава химически реагирующих систем. В состав SGTE входят специализированные научные центры Германии, Канады, Франции, Швеции, Великобритании и США. В нашей работе для расчета энергии Гиббса использовали подпрограмму ReactionEquations, а для полного термодинамического анализа - подпрограмму EquilibriumCompositions комплекса HSC-5.1. Расчет равновесия в комплексе HSC-5.1 производится на основе принципа минимума энергии Гиббса исходя из выражения:

$$G(x) = \sum_{a=1}^f * \sum_{j=1}^{ia} X_j (C_j + \ln \left(\frac{X_j}{x_a} \right) + \ln \gamma_j) \rightarrow G(x)_{min}, \quad (3)$$

при ограничениях в виде системы линейных уравнений баланса массы вещества:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} X_j = b_i, \quad (4)$$

и условия нормировки:

$$\sum_{j=1}^{L_a} X_j = X_a, \quad (5)$$

где f - общее число фаз системы; B_i - общее число независимого компонента i в системе; j_a - масса чисел, по независимых компонентов в фазе a системы; n - число независимых компонентов системы; C_j - эмпирическая термодинамическая функция; X_a - общее число молей фазы a в системе; $\frac{X_j}{X_a}$ - мольная доля зависимого j компонента в фазе a ; Y_j - коэффициент активности j компонента. Параметры равновесия термодинамической системы определяются решением математической задачи о нахождении экстремума с учетом всех ограничений с использованием функций Лангранжа и метода последовательных приближений Ньютона. В отличие от программного комплекса «Астра» используемый нами комплекс HSC-5.1 обладает базой данных примерно в 3 раза больше, чем база данных комплекса «Астара» [14-16].

При работе с комплексом HSC – 5.1 получаемая информация представляется в виде количественного (кг) распределения веществ в исследуемой системе. Затем, на основе этой информации, определялась равновесная степень элемента ($\alpha_{эл}$, %) по продуктам взаимодействия.

При моделировании количество углерода рассчитывалось исходя из полного восстановления кремния, железа, цинка, содержащихся в БАР (бедная Ачисайская руда).

Электроплавку шихты, содержащую цинковую руду проводили в одноэлектродной дуговой печи. Перед проведением плавки в печь устанавливали графитовый тигель ($d=6\text{см}$, $h=15\text{см}$) и проводили разогрев его дугой в течение 20-25 мин. Затем в печь загружали первую порцию шихты (200 г). Проплавляли ее в течение 5-6 мин, после чего в печь загружали оставшуюся часть шихты (200 г) и проплавляли ее в течение 25-30 мин. В период плавки сила тока составляла 250-300А, напряжение 45-50В. После электроплавки печь охлаждалась в течение 6 часов. Графитовый тигель извлекали из печи и разбивали. Шлак и ферросплав взвешивали и анализировали на Zn, Fe, Si и Ca. Содержание Si в сплаве (C_{Si} , %) определяли исходя из плотности сплава (ρ , г/см³) по формулам [17]:

$$C_{Si}=690,679-545,783 \times \rho + 166,151 \times \rho^2 - 17,467 \times \rho^3 \quad (\text{при } \rho=3,52-6,09 \text{ г/см}^3); \quad (7)$$

$$C_{Si}=130,878-21,232 \times \rho + 0,859 \times \rho^2 \quad (\text{при } \rho=6,09-7,859 \text{ г/см}^3); \quad (8)$$

Для анализа исходного сырья и ферросплава использовали растровый электронный микроскоп марки JSM-6490LM (Япония).

Качество получаемого карбида кальция определялось его литражом, т.е. количеством ацетилена, выделившимся при взаимодействии карбида кальция с водой [18]. Литраж полученного карбида кальция (L , л/кг) определялся по формуле [19]:

$$L = \frac{(p-p_1) \times 273 \times V}{(273+t) \times 760 \times G} \quad (9)$$

где p и p_1 – атмосферное давление и упругость паров воды во время опыта мм, рт.ст.; V – объем выделившегося ацетилена, мл; G – навеска карбида кальция, г; t – температура, °С; L – литраж карбида кальция, л/кг.

Содержание CaC_2 в техническом карбиде кальция (C_{CaC_2} , %) определено по формуле:

$$C_{\text{CaC}_2} = (L/372) \times 100. \quad (10)$$

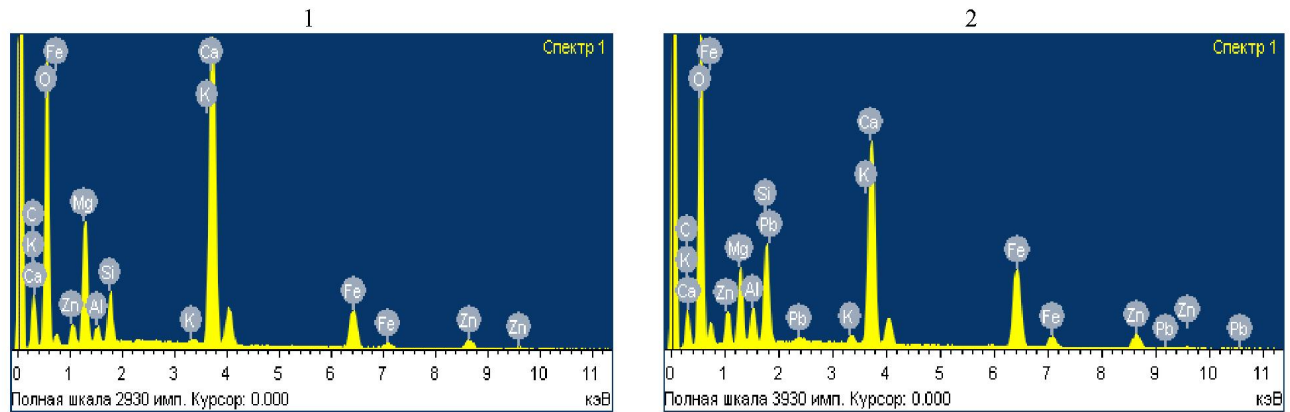
где 372 - количество литров ацетилена, выделяющегося из 100% карбида кальция при 20 °С и давлении 760 мм.рт.ст.

Исследования проводились с использованием БАР, содержащей 3,26-5,56 %Zn, 3,9-8,8% SiO₂, 17,26-25,57% CaO. Растровый электронно-микроскопический анализ двух проб БАР приведен на рисунке 1.

Термодинамическим моделированием найдено, что в системе БАР-углерод во взаимодействии, в зависимости от температуры принимают участие 12 веществ: FeSi, FeSi₂, Fe₃Si, Fe₃Si₃, CaSiO₃, Al₂SiO₅, MgSiO₃, Si, CaC₂, Ca, CO, CO₂. На рисунке 2 дана информация о количественном распределении кремния, кальция и цинка в рассматриваемой системе.

Из рисунка 2 следует, что начало образования FeSi наблюдается при 1500 °С, кремния – при 1600 °С, карбида кальция – при 1800 °С, а газообразного Zn - при 800 °С. Наблюдаемое снижение образования CaC₂ при $T > 2100$ °С объясняется разложением его по реакции [20]:





3

Содержание, %	C	O	Mg	Al	Si	Fe	K	Ca	Zn	Pb
Проба №1	15,57	47,61	6,32	0,73	1,82	6,24	0,20	18,26	3,26	—
Проба №2	13,78	43,84	4,25	1,60	4,11	13,50	0,40	12,33	5,56	0,64

Рисунок 1 – Растрово-электронномикроскопический анализ оксидной бедной руды месторождения Ачисай:
1, 2 – качественный анализ, 3 – количественный анализ

Figure 1 – Raster-electron microscopic analysis of oxide poor ore the Achisay deposit:
1, 2 – qualitative analysis, 3 – quantitative analysis

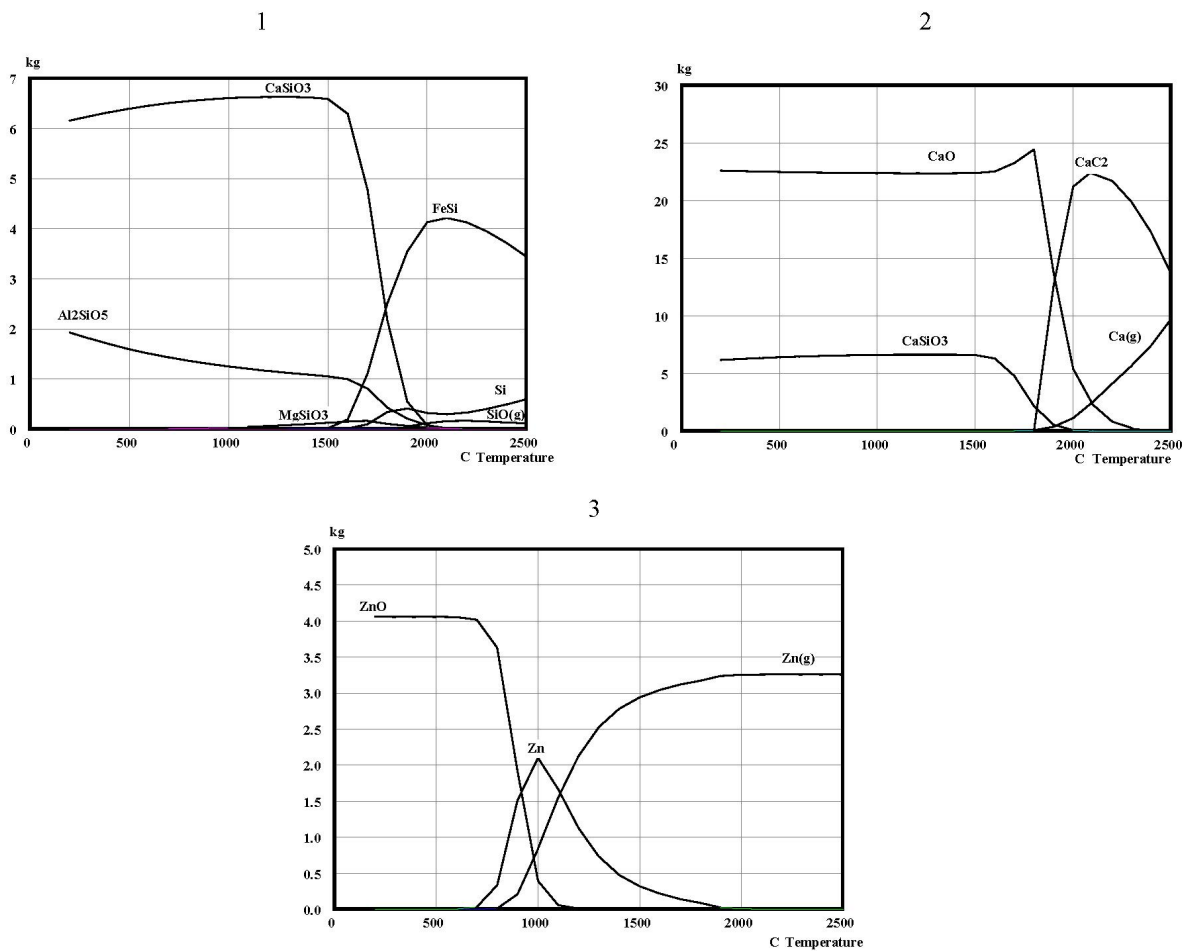


Рисунок 2 – Влияние температуры на количественное распределение веществ, содержащих кремний, кальций, цинк, свинец в системе бедная Ачисайская руда-углерод. Вещества, содержащие: 1 – кремний, 2 – кальций, 3 – цинк

Figure 2 – The effect of temperature on the quantitative distribution of substances containing silicon, calcium, zinc, lead in the poor Achisay ore-carbon system. Substances containing: 1 – silicon, 2 – calcium, 3 – zinc

На основании количественного распределения элементов рассчитана степень извлечения из руды кремния в ферросплав, кальция в CaC_2 , цинка в газообразное состояние (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние температуры на степень извлечения (α , %) элементов из бедной руды месторождения Ачисай

Table 1 – Effect of temperature on the degree of recovery (α , %) of elements from the poor ore of the Achisay deposit

α , %	Температура, °C							
	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2300
Si в сплав	0,32	4,24	25,89	64,90	87,67	93,56	94,06	94,67
Ca в карбид	0,00	0,00	0,00	0,00	43,16	72,08	77,2	67,71
Zn в газ	90,71	93,25	95,73	97,20	99,31	99,72	99,97	99,98

Из таблицы 1 видно, что извлечение кремния в сплав (87-94%) отмечается в температурной области 1900-2100 °C, кальция в CaC_2 (72-77,2%) при 2000-2100 °C, цинка в газ (97-99,9%) в температурной области 1800-2100 °C. Концентрация Si в сплаве при 1900-2100 °C составляет 22,8-24,1 %, а Ca в техническом карбиде кальция от 32,3% (T=1900 °C) до 66,7% (T=2200 °C), а его литраж от 119,8 л/кг (T=1900 °C) до 248,1 л/кг (T=2200°C).

Исходя из термодинамического моделирования следует, что комплексная переработка руды (по температурному признаку) будет сдерживаться образованием карбида кальция.

В таблице 2 показаны результаты экспериментальных электроплавов руды с различным содержанием коксовой мелочи.

Из таблицы 2 следует, что в зависимости от количества кокса литраж полученного карбида кальция изменяется от 210 до 260 л/кг, а содержание кремния в сплаве возрастает от 12 до 19%.

Таблица 2 – Влияние кокса (G_k) на литраж (L) карбида кальция и содержание кремния в сплаве (C_{Si})

Table 2 – Effect of coke (G_k) on the capacity (L) of the calcium carbide and the silicon content in the alloy (C_{Si})

G_k , % от массы руды	20	25	30	35	40
L, л/кг	210	248	260	250	230
C_{Si} , %	12	16	19	18,3	19

Для увеличения содержания кремния в сплаве было исследовано влияние количества добавленного к Ачисайской руде кварцита. Кроме того для улучшения извлечения кремния в шихту ввели 10% стальной стружки от массы руды. Количество кокса при плавках вводилось в шихту из расчета 110% от теоретически необходимого для восстановления Zn, Fe, Ca и Zn. В таблице 3 приведены полученные результаты из которой видно, что образующийся ферросплав содержит 18-32% Si (фотография сплава с 24,6%Si представлена на рисунке 3). Причем при увеличении количества кварцита литраж карбида снижается от 190 до 152 л/кг.

Таблица 3 – Влияние кварцита ($G_{кв}$) на литраж карбида кальция и содержание кремния в сплаве

Table 3 – The effect of quartzite ($G_{кв}$) on the capacity of the calcium carbide carbide and the silicon content in the alloy

$G_{кв}$, % от массы руды	5	7	10	15	20	30
L, л/кг	190	186	180	163	152	110
C_{Si} , %	18,1	21,0	24,6	28,9	32,0	33

Рисунок 3 –
Фотография полученного ферросплава
(фрагмент)

Figure 3 –
Photo of the obtained ferroalloy (fragment)



При увеличении количества кварцита до 30% литраж карбида снизился до 110 л/кг, а C_{Si} увеличилась только до 33%. Поэтому из руды с низким содержанием Zn целесообразно получать ферросплав с содержанием кремния 21-29% и карбид литражом 152-190 л/кг. При получении более качественного карбида литражом 210-280 л/кг, сплав содержит 12-19% Si. Независимо от состава шихты степень извлечения цинка из руды в возгоны составляет 97-99%.

Предлагаемый способ переработки оксидной цинковой руды позволяет извлечь в продукцию не только Zn, PbCd, но также и Fe, Si, Ca. Тем самым значительно повышается степень комплексного использования сырья.

На основании полученных результатов по электроплавке бедных Ачисайский руд можно сделать следующие выводы:

- равновесное взаимодействие руды с углеродом характеризуется образованием FeSi ($T \geq 1500$ °C), Si ($T \geq 1600$ °C), карбида кальция ($T \geq 1800$ °C) и газообразного Zn ($T \geq 800$ °C); Степень извлечения Si из руды в сплав на уровне 87-94% отмечается при 1900-2100 °C, Ca в CaC_2 -72-77,2% при 2000-2100 °C, Zn в газ 95-99,9% при 1700-2100 °C.

- электроплавка руды в смеси с коксом позволяет получить ферросплав с содержанием 12-19% Si и карбид кальция литражом 210-260 л/кг; в присутствии кварцита содержание Si в сплаве возрастает до 32-33%, литраж карбида при этом составляет 150-190 л/кг.

- степень извлечения цинка в возгоны при электроплавке составила 97-99%.

REFERENCES

- [1] Abdeev MA, Kolesnikov AV, Ushakov NN (1989) Waelz process of zinc-containing materials [Velcevaniecink soderzhashhihmaterialov]. Moscow, Metallurgy. (In Russian)
- [2] Gizatuln OV, Ivakin DA, Kazanbaev LA, Kozlov PA, Kolesnikov AV (2006) Charging material for waelz process of zinc-containing materials [Shihtadljavelcevanijacinksoderzhashhihmaterialov]. Patent of the Russian Federation [Patent RossijskojFederacii]. (In Russian)
- [3] Kozlov PA, Panshin AM, Shakirzyanov RM, Zatonsky AV, Leontiev LI, Reshetnikov Yu V, Dyubanov VG, Degtyarev A M, Ivakin D A (2014) Method of waelz process of oxidized zinc-containing materials [Sposob vel'cevanija oksislennyh cinksoderzhashhihmaterialov]. Patent of the Russian Federation [Patent RossijskojFederacii]. (In Russian)
- [4] Romanteev Yu P, Fedorov AN, Bystrov SV (2006) Metallurgy of zinc and cadmium [Metallurgijacinka i kadmija]. Moscow, Moscow Institute of Steel and Alloys State Technological University. (In Russian)
- [5] Zaitsev V Ya, Margulis EV (1985) Metallurgy of lead and zinc [Metallurgijasvinca i cinka]. Moscow, Metallurgy. (In Russian)
- [6] Shevko VM, Karataeva GE (2015) Metallurgy of zinc and cadmium [Metallurgijacinka i kadmija]. Shymkent, South Kazakhstan State University. M. Auezova. (In Russian)
- [7] Kazanbaev LA, Kozlov PA, Kubasov VL (2007) Hydrometallurgy of zinc. Leaching processes [Gidrometallurgijacinka. Processy vyshhelachivaniya]. Moscow, Ore and metals. (In Russian)
- [8] Bykov RA, Ramazanova RA, Wang E Yu, Gray NV, Mamyachenkov SV (2017) Method of processing of oxidized zinc ore [Sposob pererabotki oksislennoj cinkovoj rudy]. Patent for utility model of the Republic of Kazakhstan [Patent napoleznuju model Respubliki Kazakhstan]. (In Russian)
- [9] Ramazanova RA, Seraya NV, Bykov RA, Mamyachenkov SV (2016) Optimization of processing technology for oxidized zinc containing ores [Optimizacijatehnologii pererabotki oksislennyh cinksoderzhashhih rud]. Ust-Kamenogorsk, Vestnik of EKSTU. p: 46-55. (In Russian)
- [10] Ramazanova R A, Seraya NV, Bykov RA, Mamyachenkov SV, Anisimova OS (2016) Features of Shaimerden deposit Oxidized zinc ore leaching. Metallurgist, p: 629-634
- [11] Mamyachenkov SV, Ramazanova RA, Bykov RA, Seraya NV (2016). Evaluation of the process of sulfuric acid leaching of zinc from refractory oxidized zinc ore from the point of view of mathematical modeling [Ocenka processa sernokislotnogo vyshhelachivaniya cinka iz trudnoobogatimoj oksislennoj cinkovoj rudy s pozicij matematicheskogo modelirovaniya]. Complex use of mineral raw materials [Kompleksnoe ispolzovanie mineral'nyh syr'ja], p: 63-66 (In Russian)
- [12] Shevko VM, Bishimbaev VK, Serzhanov GM, Kolenikov AS, Tuleev MA (2012) Method of processing of oxide zinc-containing ore [Sposob pererabotki oksidnoj cinksoderzhashhej rudy]. Patent of the Republic of Kazakhstan [Patent Respubliki Kazakhstan]. (In Russian)
- [13] Roine A (2002) Outokumpu HSS Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium software with Extensive Thermochemical Database. Pori: Outokumpu Research OY
- [14] Trusov BG (1991) Modeling of chemical and phase equilibria at high temperatures [Modelirovanie himicheskikh i fazovyh ravnovesij pri vysokih temperaturah]. Moscow, Moscow State University. (In Russian)
- [15] Sinyarev GB, Vatolin NA (1982) Computer applications for thermodynamic calculations of metallurgical processes [Primenenie jeVMdl'jatermodinamicheskikh raschetov metallurgicheskikh processov]. Moscow, The science. (In Russian)
- [16] Trusov BG (1984) Thermodynamic method of analysis of high-temperature states and processes and its practical implementation [Termodinamicheskij metod analizavysokotemperaturnyh sostojanij i processov i ego prakticheskaja realizacija]. Moscow. (In Russian)

[17] Shevko VM, Amanov DD, Karataeva GE, Aitkulov DK (2016). Obtaining a complex ferroalloy from silica clay contained silicon and aluminum. Complex use of mineral raw materials, p.39-45.

[18] Ershov VA, DantsisYa B, Reutovich LN (1974) Production of calcium carbide [Proizvodstvokarbidakalcija]. Leningrad: Chemistry [Leningrad, Himija]. (In Russian)

[19] Kozlov KB, Lavrov BA (2011) Calcium carbide production in an arc furnace and its analysis [Poluchenie karbida kal'cija v dugovojpechi i ego analiz]. Saint Petersburg, St. Petersburg State Technological Institute (technical university) [Sankt-Peterburgskij, Sankt-Peterburgskijgosudarstvennyjtehnologicheskijinstitut(tehnicheskijuniversitet)]. (In Russian)

[20] DantsisYa B, Ershov VA, Zhilov GM (1984) Electrothermal processes of chemical technology [Jelektrotermicheskie processy himicheskojtehnologii] Leningrad: Chemistry [Leningrad, Himija]. (In Russian)

В. М. Шевко¹, Д. К. Айткулов², Б. Б. Атамқұлов³, К. С. Избасханов⁴, М. А. Найманбаев⁵

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан,

²Қ. И. Сәтбаев атындағы Геология ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан,

³Қ. И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан,

⁴АҚ «Тау-Кен Самұрық», Астана, Қазақстан,

⁵АҚ "Металлургия және кен байыту институты", Алматы, Қазақстан

АЩЫСАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ КЕДЕЙ ОКСИДТІ КЕНДЕРІН КЕШКНДІ ЭЛЕКТРОТЕРМИЯЛЫҚ ҚАЙТА ӨНДЕУ

Аннотация. Оксидті кендерді вельцтеудің негізгі кемшіліктеріне байланысты (кокстың едәуір шығыны, үйінді клинкердің түзілісі, $\leq 5\%$ Zn-пен кендерді қайта өндеудің тиімсіздігі) мырыш металлургиясындағы мәселе кедей оксидті кендерді кешенді қайта өндеу болып табылады.

Мақалада тотықсыздандыра-айдаумен балқыту арқылы 3,2-5,5%Zn құрайтын Ащысай кен орындарының кедей карбонатты кендерін қайта өндеу бойынша зерттеу нәтижелері келтіріледі. Зерттеу доғалы пеште электрлі балқытумен және Гиббс энергиясының минимумды принципіне негізделген HSC-5.1 бағдарламалы кешенін пайдалану арқылы термодинамикалық моделдеу әдісімен жүргізілген. Кендердің көміртегімен біртекті әрекеттесуі FeSi ($T \geq 1500^\circ\text{C}$), Si ($T \geq 1600^\circ\text{C}$), кальций карбидінің ($T \geq 1800^\circ\text{C}$) және газ тәрізді Zn ($T \geq 800^\circ\text{C}$) түзілісімен сипатталатыны анықталды; 87-94% деңгейінде қорытпаға кеннен кремнийді бөліп алудың біртекті дәрежесі $1900-2100^\circ\text{C}$ кезінде, CaC_2 -72-77,2%-ге кальцийді бөліп алу $2000-2100^\circ\text{C}$ кезінде, мырышты 95-99,9% газға бөліп алу $1700-2100^\circ\text{C}$ кезінде байқалады. Кендерді кокспен қорытпада электрлі балқыту литражбен кальций карбидінің 210-260 л/кг және 12-19% Si мөлшерімен ферроқорытпаны алуға мүмкіндік береді; кварциттің қатысуында қорытпада Si мөлшері 32-33% дейін артады, бұл кезде карбид литражы 150-190 л/кг құрайды. Электрлі балқыту кезінде айдандыларға мырышты бөліп алу дәрежесі 97-99% құрайды. Оксидті мырышты кендерді қайта өндеудің ұсынылған әдісі өнімге мырышты ғана месе, сондай-ақ, қорғасын, кадмий, темір, кремний және кальцийді бөліп алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, шикізатты кешенді қолдану дәрежесі едәуір артады.

Түйін сөздер: кедей оксидті кендер, тотықсыздану, термодинамикалық моделдеу, электрлі балқыту, ферроқорытпа, кальций карбиді, мырышты айдандылар.