

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**

выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/KBNH3045>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажибоева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

Н. З. Нурғали¹, М. С. Алмағамбетов¹, * О. Р. Сариев², Б. С. Келаманов²

¹ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG»,

Республика Казахстан, г. Астана;

²Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,

Республика Казахстан, г. Актобе

* e-mail: rafhatsson@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ШИХТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОТИТАНИСТЫХ ШЛАКОВ

В статье рассмотрены электрические свойства составов шихты для электротермического обогащения ильменитовых концентратов с получением высокотитанистых шлаков, которые содержат оксид титана более 80 %. Температурная зависимость усадки рудо-угольных брикетов напрямую зависит от содержания летучих и остаточной влаги углеродистого восстановителя, в качестве которых могут использоваться уголь Шубаркольский и различные виды кокса. Выплавка богатый титанистый шлак из порошковой шихты сопровождается некоторыми сложностями. Дело в том, что большая часть монооксида железа в составе ильменитового концентрата восстанавливается в жидкой фазе, т.е. в диффузионных условиях. Это обусловлено тем, что процесс плавления концентрата, сопровождаемый начальным шлакообразованием, опережает процесс его восстановления. По результатам лабораторных экспериментов установлено, что наиболее подходящими восстановителями для выплавки высокотитанистых шлаков, являются спецкокс и газовый уголь, так как брикеты с ними, обладают наибольшим электросопротивлением в интервале температур твердофазного восстановления титанового сырья. При температурах более 1200 °С, электросопротивление всех исследованных шихтовых смесей вылаживается и становится практически одинаковой. Применение данных восстановителей способствует улучшению условий селективного восстановления оксидов железа и предупреждает образование легкоплавких первичных шлаков.

Ключевые слова: Высокотитанистый шлак, углеродистый восстановитель, ильменитовый концентрат, электропроводность, шихта.

Введение

Подбор восстановителя играет важную роль при электрокарботермическом получении богатого титанового шлака (БТШ), из порошковой или окускованной шихты. В качестве восстановителей могут быть использованы различные углеродсодержащие материалы, например, такие как антрацит, металлургический, пековый и нефтяной коксы, различные каменные угли и специальные виды кокса [1].

В процессе выплавки БТШ в условиях руднотермической электропечи углеродистые восстановители должны обладать следующими основными свойствами [1]:

- высокая реакционная способность (химическая активность);
- низкая электропроводность (высокое электросопротивление - ЭС);
- малая зольность;

а также должны быть сравнительно не дорогими и не обладать дефицитом.

Из перечисленных свойств помимо химической активности, особое значение имеет их удельное электросопротивление, и в зависимости от специфики металлургического передела, количество и состав золы. В случае выплавки БТШ лучше всего применять малозольные восстановители, так как большинство оксидов, составляющих его золу (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и MgO) переходят в шлак, при этом разубоживая целевой продукт – шлак. Низкая электропроводность восстановителя обеспечивает общее высокое электросопротивление шихты, глубокую посадку электродов, стабильный электрический режим и равномерный ход электродуговой печи. Как показали результаты исследований [2], по мере уменьшения восстановительной способности к титановым концентратам, восстановители размещены в следующем порядке: древесный уголь - газовый уголь - антрацит – нефтяной кокс.

Известно, что выплавка БТШ из порошковой шихты сопровождается некоторыми сложностями. Дело в том, что большая часть монооксида железа в составе ильменитового концентрата восстанавливается в жидкой фазе, т.е. в диффузионных условиях. Это обусловлено тем, что процесс плавления концентрата, сопровождаемый начальным шлакообразованием, опережает процесс его восстановления [3–5, 7–8]. В работе [4] отмечено, что восстановление в той или иной степени оказывает влияние на первичное шлакообразование сырья. В связи с этим для увеличения тугоплавкости шихты в металлургической практике производства БТШ используют предварительно окускованные шихтовые материалы [1, 3, 5, 9–11].

Материалы и методы исследования

Известно, что использование наиболее распространенного метода окускования в металлургии – агломерации – не позволяет достичь удовлетворительных результатов. Способ брикетирования шихты, нашел широкое применение в металлургии БТШ. Однако переработка шихты состоящей из 100 % рудоугольных брикетов, сопровождается спеканием и цементированием брикетов на колошнике печи кипящим расплавом, что впоследствии приводит к нарушению газопроницаемости колошника. Поэтому, рекомендуется плавить совместно брикетированную и порошковую шихту (количество

порошковой шихты варьируется от 20 до 50 %) [6], в этом случае повышаются технико-экономические показатели процесса и улучшаются газодинамические свойства шихты.

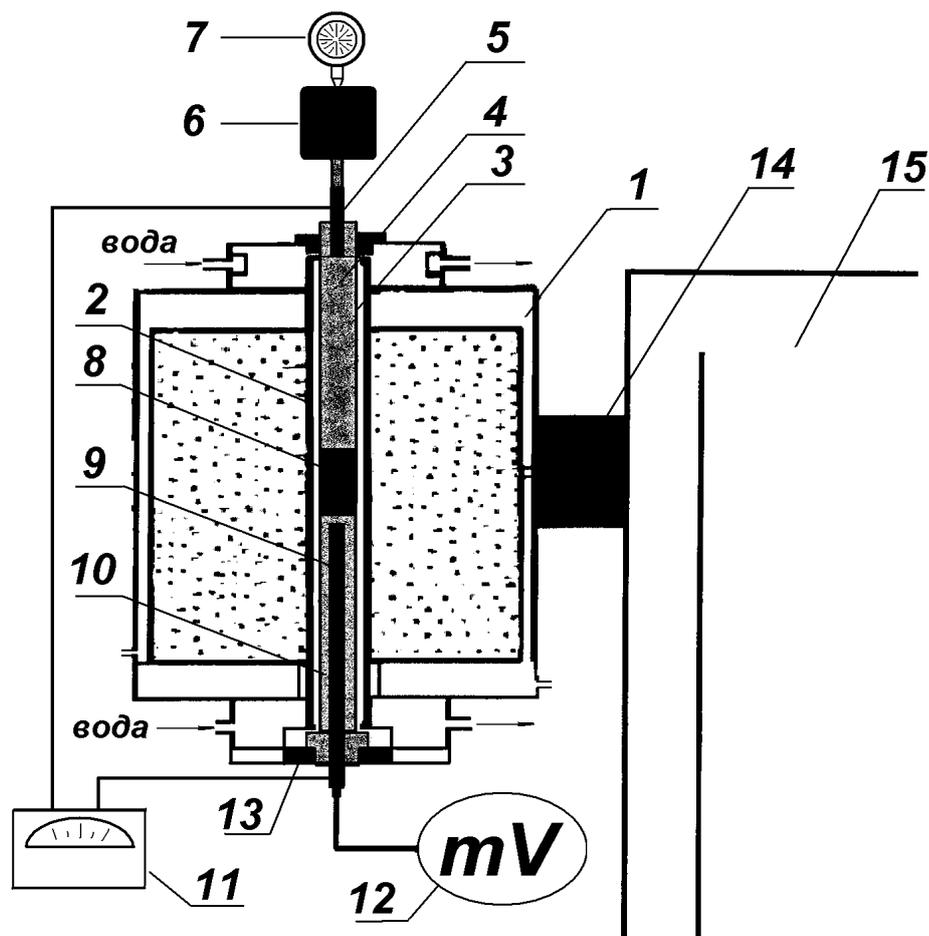
С учетом вышесказанного задачей наших исследований, было измерение электросопротивления рудоугольных брикетов, состоящих из шокашского концентрата и различных углеродистых восстановителей, согласно методикам [12–14]. Химический состав ильменитового концентрата представлен следующими данными, % от массы: TiO_2 –53,7; FeO –33,9; Al_2O_3 –1,89; SiO_2 –3,46; ZrO_2 –0,16; Cr_2O_3 –1,65; P_2O_5 –0,06. Технические составы углеродистых восстановителей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технический состав использованных восстановителей (% от массы)

Восстановитель	углерод	зола	летучие	влага
Газовый уголь	54,25	3,55	39	3,2
Спецкокс	92,64	3,08	2,5	1,96
Металлургический кокс	76	13	3	8
Нефтекокс	87,8	0,11	7,9	4,2

Условия проведения опытов: давление на пробу 2 кгс/см^2 , скорость нагрева 25-30 град/мин, внутренний диаметр алундовой трубки 0,02 м, высота слоя материала 0,005 м. Нагрев сопровождается усадкой пробы, которую фиксирует индикатор с точностью 0,01 мм.

Брикеты $d=20\text{ мм}$, изготавливали на лабораторном гидравлическом прессе, под давлением нажатия $120\text{--}140\text{ кгс/см}^2$. В качестве связующего вещества использовали 50 %-ный раствор жидкого стекла ($SiO_2=35,0\%$, $Na_2O=10,5\%$), который добавляли в количестве 5 % от массы шихты. Восстановитель в шихту для изготовления брикетов задавали в таком количестве, чтобы селективно восстановить все железо из концентрата. Сушку готовых брикетов осуществляли в муфельной печи при температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$ в течении 2 часов. Перед тем как загружать брикеты в алундовую трубку, их дробили до класса 0–8 мм. Эксперименты по измерению электросопротивления (ЭС) рудоугольных брикетов, исполняли на лабораторной установке изображенной на рисунке 1.



1–печь сопротивления; 2–графитовая трубка; 3–алундовая трубка; 4–верхний графитовый электрод; 5–медный наконечник электрода; 6–груз; 7–индикатор; 8–шихта; 9–термопара; 10–нижний графитовый электрод; 11–омметр; 12–потенциометр (ПП-63); 13–асбестовая плитка; 14–медные шины; 15–печной трансформатор.

Рисунок 1 – Установка для измерения электросопротивления материалов

Результаты и обсуждение

Температурная зависимость усадки, исследованных рудоугольных брикетов показана на рисунке 2. Из рисунка заметно, что сравнительно наименьшей усадкой при нагревании обладают брикеты с нефтекоксом. Установленная величина напрямую зависит от содержания летучих и остаточной влаги углеродистого восстановителя.

На рисунке 3, изображена температурная зависимость абсолютного электросопротивления (ЭС) рудоугольных брикетов, с различными восстановителями. Из рисунка видно, что в интервале температур твердофазного восстановления при 800–1150°C, наибольшим сопротивлением обладают брикеты концентрата со спецкоксом и углем. При сравнении кривых сопротивления брикетов очевидно, что они протягиваются почти параллельно до 1050 °C, после чего темпы снижения сопротивления понижаются. При более высоких температурах 1200°C, сопротивление

всех брикетов сравнительно одинаковы. Это обусловлено образованием жидкой токопроводящей фазы, т.е. первичных железистых шлаков.

На рисунке 4 приведена зависимость электропроводности от температуры. По графику можно судить что наименьшей электропроводностью в интервале температур 900–1200 °С, обладают брикеты со спецкоксом и газовым углем. При указанных температурах происходит твердофазное восстановление свободных и связанных в ильмените оксидов железа. Спецкокс и газовый уголь оказывают зримое положительное влияние на процессы восстановления ильменитового концентрата до расплавления рудоугольных брикетов. При температурах выше 1200 °С, электропроводность последних резко увеличивается и равняется с остальными, это объясняется тем, что происходит образование продуктов восстановления FeO и металлического железа, т.е. зарождаются капли расплава.

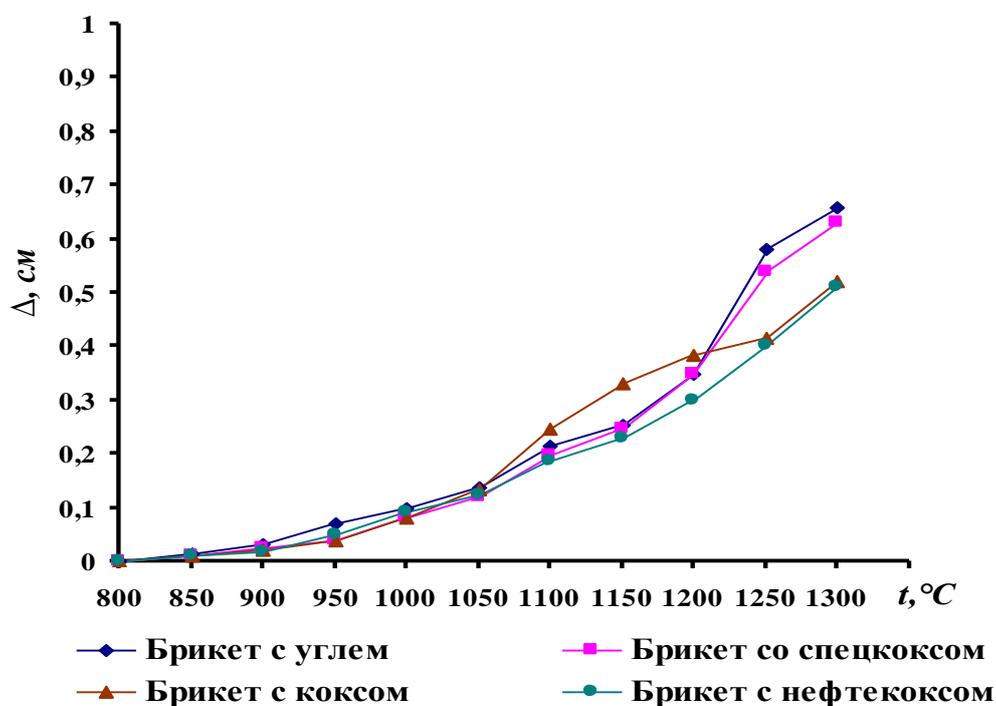


Рисунок 2 – Температурная зависимость усадки рудоугольных брикетов

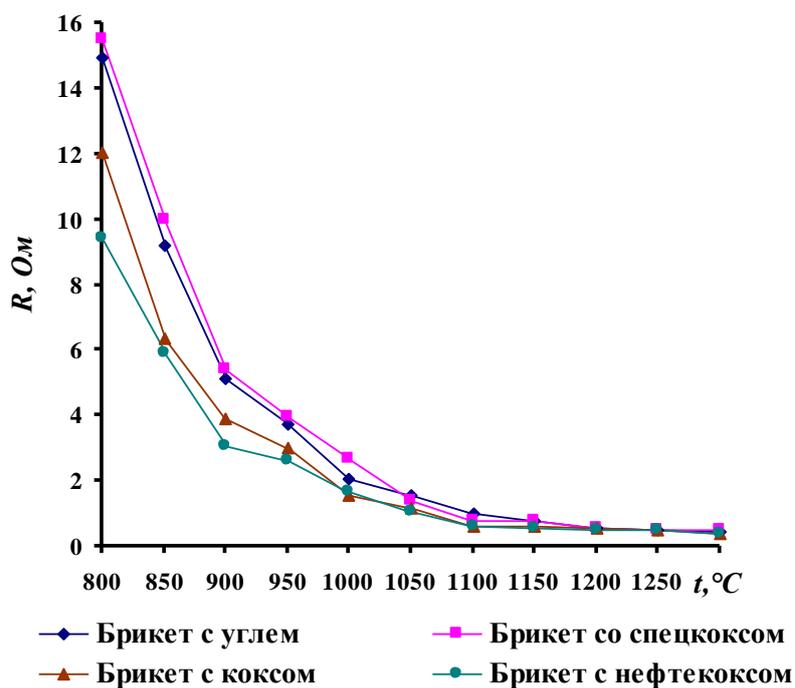


Рисунок 3 – Температурная зависимость электросопротивления рудугольных брикетов

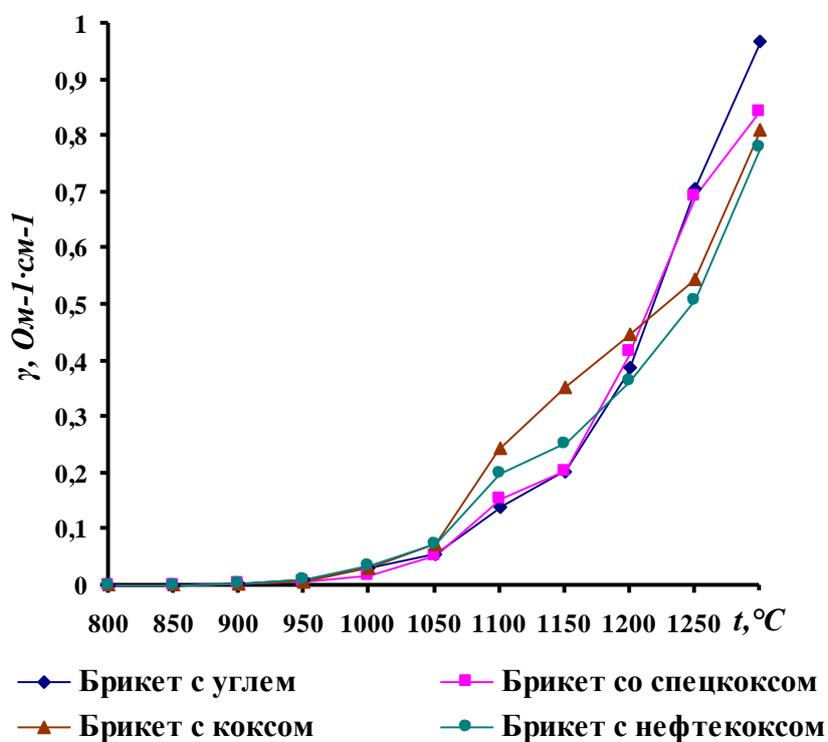


Рисунок 4 – Температурная зависимость электропроводности брикетов

Выводы

По результатам экспериментов можно утверждать, что наиболее специфически подходящими восстановителями для выплавки БТШ, являются спецкокс и уголь, так как брикеты с ними, обладают наибольшим ЭС в интервале температур твердофазного восстановления, и они характеризуются низкой зольностью. Применение данных восстановителей способствует улучшению условий восстановления монооксида железа и предупреждает образование легкоплавких первичных шлаков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Денисов, С. И.** Электротермия титановых шлаков. – М. : Metallurgiya, 1970. – 168 с.
- 2 **Рапопорт, М. Б., Козлов, В. М.** ЖПХ. – 1963. – Т. XXXVI. – № 7. – С. 1442–1453.
- 3 **Сергеев, В. В., Галицкий, Н. В., Киселев, В. П., Козлов, В. М.** Metallurgiya titana. – М. : Metallurgiya, 1971. – 320 с.
- 4 **Резниченко В. А., Устинов, В. С., Карязин И. А., Петрунько А. Н.** Электрометаллургия и химия титана. – М. : Наука, 1982. – 277 с.
- 5 **Васютинский, Н. А.** Титановые шлаки. – Изд. Metallurgiya, 1972. – 208 с.
- 6 **Зеликман, А. Н., Крейн, О. Е., Самсонов, Г. В.** Metallurgiya redkikh metallor. - 3-е изд. – М., Metallurgiya, 1978. – 560 с.
- 7 **Sariev, O., Kim, S., Zhumagaliev, Ye., Kelamanov, B., Sultanov, M., Nurgali, N.** Viscosity and crystallization temperature of ferroalloy slags from Kazakhstan ore // Metalurgija 58. –4, 2020. – P. 525–528.
- 8 **Sariev, O. R., Almagambetov, M. S., Nurgali N. Z., Abdirashit, A. M., Kelamanov B. S.** Investigation of electric conductivity of ferroalloy slags // Вестник КазНТУ имени К. И. Сатпаева, № 4. – 2020. – С. 171–174.
- 9 **Резниченко, В. А., Рапопорт, М. Б., Ткаченко, В. А.** Metallurgiya titana. – М. : AN SSSR, 1963. – 200 с.
- 10 **Грамата, В. А., Петрунько, А. Н., Галицкий, Н. В. и др.** Титан. – М. : Metallurgiya, 1983. – 559 с.
- 11 **Кручер, Г. Н.** Производство и применение титановых полуфабрикатов за рубежом // Цветметинформация. – 1966. – С. 92.
- 12 **Жучков, В. И., Розенберг, В. Л., Ёлкин, К. С., Зельберг, Б. И.** Энергетические параметры и конструкции рудовосстановительных электропечей. – Челябинск : Metall, 1994. – 192 с.
- 13 **ГОСТ 23776-79.** Изделия углеродные. Методы измерения удельного электрического сопротивления.
- 14 **ГОСТ 4668-75.** Материалы углеродные. Метод измерения удельного электрического сопротивления порошка.

REFERENCES

- 1 **Denisov, S. I.** Elektrotermiya titanovykh shlakov [Electrothermy of titanium slags]. – Moscow : Metallurgy, 1970, P. 168.
- 2 **Rapoport, M. B., Kozlov, V. M.** ZhPH. – 1963. – 7. – P. 1442–1453.
- 3 **Sergeev, V. V., Galitsky, N. V., Kiselev, V. P., Kozlov, V. M.** Metallurgiya titana [Metallurgy of titanium]. – Moscow : Metallurgy, 1971.
- 4 **Reznichenko, V. A., Ustinov, V. S., Karyazin, I. A., Petrunko, A. N.** Elektrometallurgiya i khimiya titana [Electrometallurgy and Chemistry of Titanium]. – Moscow : Nauka, 1982. – P. 277.
- 5 **Vasyutinsky, N. A.** Titanovyye shlaki [Titanium slags]. - Izd Metallurgy, 1972, p. 208.
- 6 **Zelikman, A. N., Crane, O. E., Samsonov, G. V.** Metallurgiya redkikh metallov [Metallurgy of rare metals]. 3rd Ed. – Metallurgy, 1978. – P. 560.
- 7 **Sariev, O., Kim, S., Zhumagaliev, Ye., Kelamanov, B., Sultanov, M., Nurgali, N.** Viscosity and crystallization temperature of ferroalloy slags from Kazakhstan ore. Metalurgija 59 (2020) 4, 525–528.
- 8 **Sariev, O. R., Almagambetov, M. S., Nurgali N. Z., Abdirashit, A. M., Kelamanov B. S.** Remelting the high-carbon ferrochrome dust in a direct current arc furnace (DCF). // Metalurgija – 59. – 4. – 2020. – P. 533–536.
- 9 **Reznichenko, V. A., Rapoport, M. B., Tkachenko, V. A.** Metallurgiya titana [Metallurgy of titanium]. – Moscow : USSR Academy of Sciences, 1963. – P. 200.
- 10 **Gramata, V. A., Petrunko, A. N., Galitsky, N. V., etc.** Titan [Titanium]. – Moscow : Metallurgy, 1983. – P. 559.
- 11 **Crusher, G. N.** Proizvodstvo i primeneniye titanovykh polufabrikatov za rubezhom [The production and use of titanium semi-finished products abroad] // Tsvetmetinform [Colormetinfo], 1966. – P. 92.
- 12 **Zhuchkov, V. I., Rozenberg, V. L., Elkin, K. S., Zelberg, B. I.** Energeticheskiye parametry i konstruktsii rudovosstanovitel'nykh elektropetchey [Energy parameters and designs of ore-reducing electric furnaces]. – Chelyabinsk : Metal, 1994. – P. 192.
- 13 GOST 23776-79. Karbonovyye izdeliya. Metody izmereniya udel'nogo elektrosoprotivleniya [Carbon products. Methods for measuring electrical resistivity].
- 14 GOST 4668-75. Uglerodnyye materialy. Metod izmereniya udel'nogo elektrosoprotivleniya poroshka [Carbon materials. Method for measuring the electrical resistivity of a powder].

Поступило в редакцию 28.11.23.

Поступило с исправлениями 28.02.24.

Принято в печать 04.02.24.

*Н. З. Нурғали¹, М. С. Алмағамбетов¹, *О. Р. Сариев², Б. С. Келаманов²*

¹«ERG ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

²Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

28.11.23. ж. баспаға түсті.

28.02.24. ж. түзетулерімен түсті.

04.02.24. ж. басып шығаруға қабылданды.

ТИТАНҒА БАЙ ШЛАК БАЛҚЫТУҒА АРНАЛҒАН ШИХТА МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ЭЛЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ

Мақалада құрамында 80 % – дан астам титан оксиді бар жоғары титанды шлактарды өндіре отырып, ильменит концентраттарын электротермиялық байытуға арналған шихта құрамдарының электрлік қасиеттері қарастырылған. Кен-көмір брикеттерінің шөгудің температураға тәуелділігі Шұбаркөл көмірі мен кокстың әртүрлі түрлерін пайдалануға болатын көміртекті тотықсыздандырғыштың Ұша және қалдық ылғалдылығының құрамына тікелей байланысты. Балқыту ұнтақ шихтасынан бай титан шлактары кейбір қиындықтармен бірге жүреді. Шындығында, ильменит концентратының құрамындағы темір оксидінің көп бөлігі сұйық фазада, яғни диффузиялық жағдайда азаяды. Бұл концентраттың балқу процесі, бастапқы қождың пайда болуымен бірге, оны қалпына келтіру процесінен озып кететіндігіне байланысты. Зертханалық эксперименттердің нәтижелері бойынша жоғары титанды шлактарды балқыту үшін ең қолайлы тотықсыздандырғыштар арнайы кокс және газ көмірі болып табылатындығы анықталды, өйткені олармен брикеттер титан шикізатының қатты фазалық тотықсыздану температурасының интервалында ең үлкен электр кедергісіне ие. 1200°C-тан жоғары температурада барлық зерттелген шихта қоспаларының электр кедергісі ериді және іс жүзінде бірдей болады. Бұл тотықсыздандырғыштарды қолдану темір оксидтерінің селективті тотықсыздану жағдайларын жақсартуға ықпал етеді және жеңіл балқытын бастапқы токсиндердің пайда болуына жол бермейді.

Кілтті сөздер: титанға бай шлак, көміртекті тотықсыздандырғыштар, брикет, электр кедергісі, шикіқұрам.

*N. Nurgali*¹, *M. Almagambetov*¹, **O. Sariyev*², *B. Kelamanov*²

¹ERG Research and Engineering Center LLP, Republic of Kazakhstan, Astana

²K. Zhubanov Aktobe Regional University, Republic of Kazakhstan, Aktobe

Received 28.11.23.

Received in revised form 28.02.24.

Accepted for publication 04.02.24.

DETERMINATION OF ELECTRICAL RESISTANCE OF CHARGE FOR PRODUCTION OF HIGH-TITANIUM SLAGS

The article considers the electrical properties of charge compositions for the electrothermal enrichment of ilmenite concentrates to produce high-titanium slags containing titanium oxide of more than 80 %. The temperature dependence of the shrinkage of ore-coal briquettes directly depends on the content of volatile and residual moisture of the carbonaceous reducing agent, which can be used as Shubarkolsky coal and various types of coke. The smelting of rich titanium slag from a powder charge is accompanied by some difficulties. The fact is that most of the iron monoxide in the composition of ilmenite concentrate is reduced in the liquid phase, i.e. under diffusion conditions. This is due to the fact that the process of melting the concentrate, accompanied by initial slag formation, is ahead of the process of its recovery. According to the results of laboratory experiments, it was found that the most suitable reducing agents for smelting high-titanium slag are special coke and gas coal, since briquettes with them have the highest electrical resistance in the temperature range of solid-phase reduction of titanium raw materials. At temperatures above 1200 ° C, the electrical resistance of all the studied charge mixtures is flattened and becomes almost the same. The use of these reducing agents helps to improve the conditions for the selective reduction of iron oxides and prevents the formation of low-melting primary slags.

Keywords: High-titanium slag, carbonaceous reducing agent, ilmenite concentrate, electrical conductivity, charge.

Теруге 18.03.24 ж. жіберілді. Басуға 29.03.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Мб RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4203

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

e-mail: nitk.tou.edu.kz

www.stk.tou.edu.kz