

Исследование физико-химических свойств шихтовых материалов для карботермической выплавки нового комплексного титансодержащего ферросплава

¹***ВОРОБКАЛО Нина Руслановна**, докторант, nina.timirbaeva23@gmail.com,

¹**ИСАГУЛОВ Аристотель Зейнуллинович**, д.т.н., профессор, aristotel@kstu.kz,

²**МАХАМБЕТОВ Ерболат Нысаналыулы**, PhD, ведущий научный сотрудник, m.ye.n@mail.ru,

²**БАЙСАНОВ Алибек Сайлаубаевич**, к.т.н., профессор, зав. лабораторией, alibekbaisanov@mail.ru,

³**ЗАЯКИН Олег Вадимович**, д.т.н., профессор, зам. директора, zferro@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, Казахстан, Караганда, ул. Ермакова, 63,

³Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, Россия, Екатеринбург, ул. Амундсена, 101,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель настоящей работы – проведение исследований физико-химических свойств шихтовых материалов для карботермической выплавки нового комплексного титансодержащего ферросплава. В работе были исследованы следующие материалы: ильменитовый концентрат Шокашского месторождения, ранее выплавленный по технологии, разработанной учеными Химико-металлургического института им. Ж. Абишева из данного ильменитового концентрата, богатый титановый шлак, кварцит, а также в качестве углеродистого восстановителя применялся высокозольный уголь. Был исследован химический и фазовый состав материалов на современном оборудовании. На основании этого был подобран оптимальный состав шихтовой смеси для дальнейших исследований, в состав которой входит богатый титановый шлак, высокозольный уголь, а также кварцит. С целью изучения принципиальной возможности карботермической выплавки титансодержащего ферросплава, в том числе поведения богатого титанового шлака и шихт на его основе в процессе нагрева был проведен термографический анализ состава шихтовой смеси.

Ключевые слова: титансодержащий ферросплав, рентгенофазовый анализ, высокозольный уголь, дериватографический анализ, шихтовые материалы, ильменит, богатый титановый шлак, химический анализ, дифференциально-термический анализ.

Введение

В связи с большим экспортным потенциалом нашей республики, на ее территории активно функционируют производства по добыче и переработке титановых руд (ильменитовый, рутиловый и др.). Сатпаевское горно-обогательное предприятие производит ильменитовый концентрат из руд Сатпаевского месторождения (Восточно-Казахстанская область) для нужд Усть-Каменогорского титаномagneзиевого комбината (производство губчатого титана, титановых слитков и слябов). Однако из-за низкого качества ильменитовой руды предприятие использует данную руду только с импортными концентратами из Украины. Сегодня ведутся работы по усовершенствованию методов переработки, добываемых концентратов и запуску второй обогащательной фабрики на месторождении Сатпаев-

ское [1, 2]. Продукция ТОО «Экспоинжиниринг», полученная из титан-циркониевых руд Шокашского месторождения (Актюбинская область), направляется только на экспорт. Основными покупателями их продукции являются «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» (РФ) – крупнейший в странах СНГ производитель титановой продукции, а также компания «Roche Commodities Ltd» (КНР). ТОО «Тиолайн» владеет Обуховским титано-циркониевым месторождением, но существует ряд критериев, препятствующих полноценной реализации ильменитового концентрата Обуховского месторождения (высокое содержание триоксида хрома) [1].

Несмотря на большой сырьевой запас и потенциал, в РК отсутствуют промышленные предприятия по выпуску ферросплавов с титаном. Традиционные технологии получения титансо-

держащих сплавов (силикотитан, ферротитан и др.) подразумевают использование дорогих шихтовых материалов, а сам процесс получения сплавов по данным технологиям требует больших энергетических затрат. Основные материальные затраты приходится на дорогостоящие восстановители, такие как алюминиевый порошок и ферросилиций.

При электрометаллургической выплавке различных видов ферросплавов основополагающим фактором, влияющим на ход процесса, является выбор и качество шихтовых материалов [3, 4]. При выборе сырья для электрометаллургического передела нужно предварительно производить его металлургическую оценку. Таким образом, цель настоящей работы – исследование физико-химических свойств шихтовых материалов для карботермической выплавки нового комплексного титансодержащего ферросплава.

Методы

В работе использовались методы исследования, широко апробированные и показавшие свою приемственность в прикладных физико-химических исследованиях сложных металлургических процессов. В частности, были использованы методы химического и рентгенофазового анализа, а также метод термографического анализа.

Химический состав используемых в работе шихтовых материалов был изучен спектральным методом анализа на вакуумном волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре МАКС-GVM.

Фазовый состав материалов изучен посредством рентгенофазового анализа на современном рентгеновском дифрактометре Empyrean Malvern Panalytical, расположенном на базе Карагандинского технического университета имени А. Сагинова. Рентгенограммы обрабатывались и расшифровывались с помощью программы Match!3 и базы данных программы FullProf-2021. В основе работы программ HighScorePlus, Match!3 и FullProf-2021 заложен метод Ритвельда, позволяющий определять структурно-фазовые характеристики широкого спектра материалов на основе профилей линий дифракции, полученных при рентгеновской съемке [5-7].

Для изучения фазовых превращений в материале был проведен дифференциально-термический анализ для навески шихтовых материалов на дериватографе $Q = 1500 D$ до температуры 1000°C . Скорость нагрева образцов составляла $-10^\circ\text{C}/\text{мин}$, скорость протяжки ленты $-2,5 \text{ мм}/\text{мин}$. Дифференциально-термический анализ производили на дериватографе системы F.Paulik, J.Paulik, L.Erdei Derivatograph Q-1500.

Результаты

Для исследования возможности получения комплексного титансодержащего ферросплава карботермическим способом были использованы

следующие шихтовые материалы: ильменитовый концентрат Шокашского месторождения, а также ранее выплавленный по технологии, разработанной учеными ХМИ им. Ж. Абишева [8-10] из данного ильменитового концентрата, богатый титановый шлак.

Известно, что для шокашских ильменитовых концентратов характерно наличие хрома и других примесей. Ильменитовый концентрат преимущественно состоит из тонкодисперсной фракции зерна размерностью от $< 0,06-0,46 \text{ мм}$, состав по классам крупности однороден. В ильменитовом концентрате ведущие компоненты распределяются пропорционально выходам классов крупности [11, 12].

Химический состав ильменитового концентрата и богатого титанового шлака, полученный на рентгенофлуоресцентном спектрометре, представлен следующими компонентами:

Ильменитовый концентрат следующего химического состава, %: $\text{TiO}_2 - 58,8$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 4,52$; $\text{SiO}_2 - 3,34$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 28,38$; $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 3,33$; $\text{MnO} - 1,37$; $\text{P} - 0,09$.

Богатый титановый шлак следующего химического состава, %: $\text{TiO}_2 - 59,09$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 4,41$; $\text{SiO}_2 - 4,14$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 14,33$; $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 1,42$; $\text{MnO} - 3,59$; $\text{P} - 0,01$.

Согласно данным химического анализа, основные примеси в ильменитовом концентрате представлены хромом, марганцем, алюминием и фосфором.

Авторы [13] утверждают, что качество готового сплава можно рассчитать согласно формуле (1), отражающей зависимость соотношения оксида титана и железа, которое должно быть меньше или равно 5.

$$\frac{\text{TiO}_2}{100 - (\text{TiO}_2 + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)} \geq 5. \quad (1)$$

Для исследуемого ильменитового концентрата данное соотношение равно 4,5, что указывает на качество и пригодность материала для металлургического передела.

Результаты рентгенофазового анализа материалов представлены на рисунке 1 и в таблицах 1 и 2.

В результате анализа установили, что титан в шокашском ильменитовом концентрате находится в соединениях псевдурютила и ильменита ($\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$ и FeTiO_3). Хром в концентрате представлен минералом группы шпинели – хромитом (FeCr_2O_4). Сумма рудных минералов составила 95-96%. Около 1,5-2,0% составляет циркон, остальное – нерудные минералы.

Данные рентгенофазового анализа свидетельствуют о том, что БТШ относится к шпинелидно-аносовитному типу. Преимущественно фазовый состав БТШ представлен твердыми растворами аносовитовой группы. В аносовите (Ti_3O_5) титан находится в виде 2-, 3- и 4-валентных катионов. Катионы могут замещаться железом, марганцем, магнием и алюминием. Остальной титан, как видно из рентгенограммы, представлен в виде шпинели.

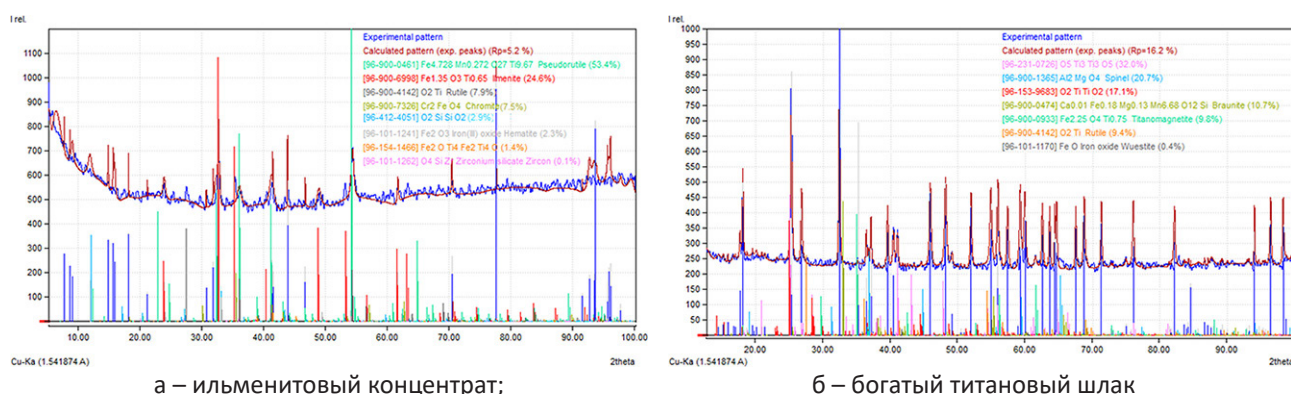


Рисунок 1 – Рентгенограммы шихтовых материалов

Таблица 1 – Данные рентгенофазового анализа ильменитового концентрата

Минерал	Формула	Массовая доля	Идентификационный номер в БД
Псевдорутил	$\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$	53,4	96-900-0461
Ильменит	FeTiO_3	24,6	96-900-6998
Рутил	TiO_2	7,9	96-900-4142
Хромит	FeCr_2O_4	7,5	96-900-7326
Кварц	SiO_2	2,9	96-412-4051
Триоксид железа (гематит)	Fe_2O_3	2,3	96-101-1241
Ульвошпинель	Fe_2TiO_4	1,4	96-154-1466
Циркон	ZrSiO_4	0,1	96-101-1262

Таблица 2 – Данные рентгенофазового анализа богатого титанового шлака

Минерал	Формула	Массовая доля	Идентификационный номер в БД
Аносовит	Ti_3O_5	32,0	96-231-0726
Шпинель	MgAl_2O_4	20,7	96-900-1365
Анатаз	TiO_2	17,1	96-500-0224
Браунит	$\text{CaMn}_{14} + 3\text{SiO}_{24}$	10,7	96-900-0474
Армаколит	$\text{Fe}_{0,5}\text{Mg}_{0,5}\text{Ti}_2\text{O}_5$	9,8	96-900-0933
Рутил	TiO_2	9,4	96-900-4142
Вьюстит	FeO	0,4	96-101-1170

нели, армаколита, браунита, рутила и вьюстита.

С целью изучения принципиальной возможности карботермической выплавки титаносодержащего ферросплава, в том числе поведения богатого титанового шлака и шихт на его основе в процессе нагрева был проведен термографический анализ состава шихтовой смеси.

На основании данных рентгенофазового и химического анализа был подобран следующий состав шихтовой смеси, доля в общей шихтовой смеси, %: углеродистый восстановитель в виде высокозольного угля (зольностью 45%) – 67,35; БТШ – 26,12 и кварцита – 6,5%. Уменьшение доли квар-

цита (SiO_2) в общей шихтовой смеси (менее чем на 6,5%) может привести к образованию преждевременного карбида титана, что сильно нарушает ход плавки в рудно-термической печи. Поэтому доля кварцита в рудной смеси должна составлять не менее 20%.

В работе использован высокозольный уголь месторождения Сарыадыр следующего технического состава, %: твердый углерод – 40-45, зольность более 45, летучие – 10-14. Химический состав золы угля, %: SiO_2 – 60-64, Al_2O_3 – 30-35%. Удельная теплота сгорания углей 7 500-8 000 тысяч ккал/кг.

Дериватограмма исследуемой шихтовой смеси представлена на рисунке 2. При проведении дифференциально-термического анализа в навеске шихтовой смеси наблюдался ряд протекающих физико-химических превращений. Уже при температуре 100-150°C начинается происходить убыль массы шихтовой смеси (примерно на 4%) за счет испарения влаги (преимущественно гигроскопической) и летучих веществ. Также стоит отметить происходящие при этих температурах диссоциации сложных соединений в составе богатого титанового шлака. При повышении температуры до 480°C убыль массы навески происходит значительно быстрее. Увеличение скорости уменьшения массы смеси можно соотнести к началу интенсивного окисления углерода в составе восстановителя, что в свою очередь сопровождается слабыми экзотермическими эффектами. Структурно-фазовые переходы двуокиси титана происходят с рядом эндотермических превращений при температуре 550-600°C [14]. В интервале температур от 570 до 650°C в навеске происходит окисление низших оксидов железа, что сопровождается экзотермическим эффектом, с увеличением ее массы. После 700°C наблюдается диссоциация шлака. Также в данной температурной области наблюдается выделение Fe_2O_3 . Далее оксид железа вступает в реакцию с углеродом угля, что продолжается до конца нагрева.

Согласно результатам дифференциально-термического анализа, была построена графическая зависимость скорости увеличения массы навески (мг) от температуры (°C) $v=f(T)$. Графическая зависимость показана на рисунке 3. Как видно из рисунка 3, для исследуемой шихтовой смеси при температуре 110°C отмечается первый пик скорости увеличения массы, равный 1 мг/мин-град, затем с повышением температуры масса соответственно увеличивается и достигает максимальной отметки 9 мг/мин-град, что согласуется с эндотермическим эффектом при температуре 580°C [14]. При температуре выше 700°C наблюдается равномерное течение процесса.

Таким образом, в лабораторных условиях установлено, что восстановление богатого титанового шлака углеродом в составе шихтовой смеси активно происходит в диапазоне температур 700-1000°C. Это подтверждается проведенными термографическими исследованиями шихты БТШ с углем и кварцитом. Следовательно, при выплавке комплексных ферросплавов с титаном углетермическим способом можно применять богатый титановый шлак, полученный из шокашского ильменитового концентрата.

Заключение и выводы

Установлен ряд физико-химических свойств для ильменитового концентрата и богатого тита-

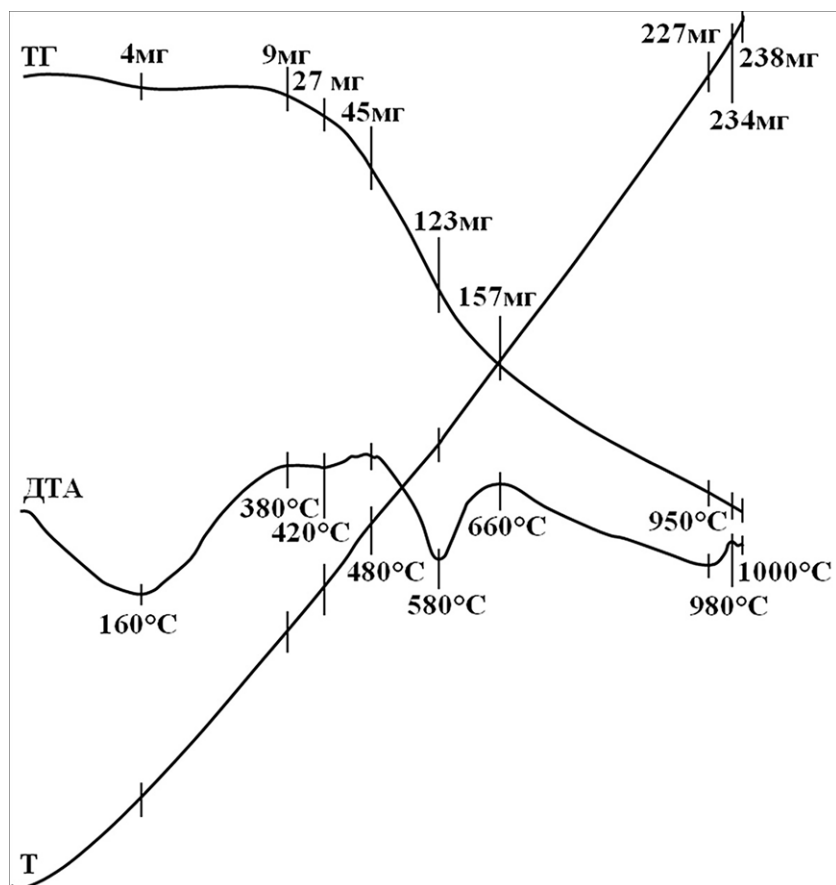


Рисунок 2 – Дериватограмма шихтовой смеси

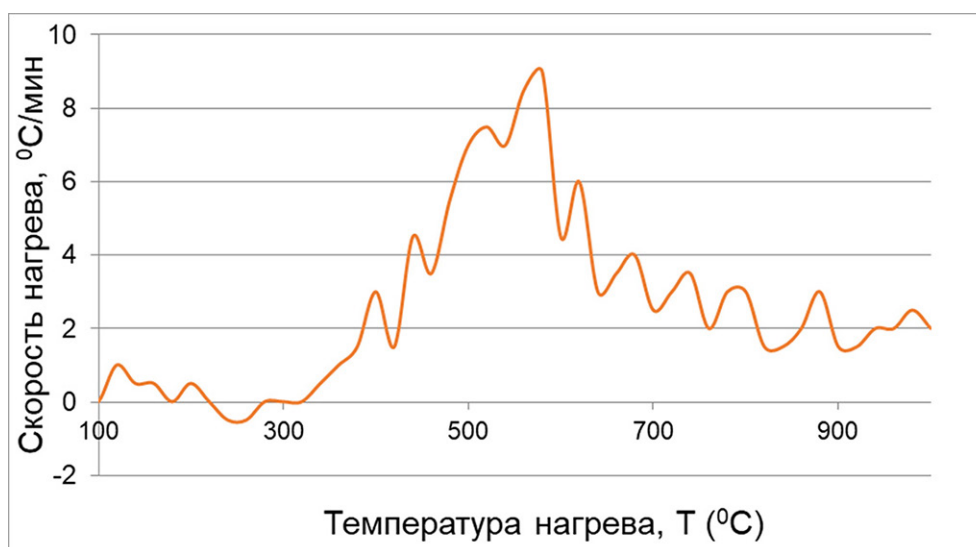


Рисунок 3 – Зависимость скорости потери массы шихтовой смеси

нового шлака.

Согласно рентгенофазовому анализу, проведенному на дифрактометре Empyrean Malvern Panalytical, фазовый состав ильменита месторождения Шокаш представлен псевдуритом ($\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$) и ильменитом (FeTiO_3). БТШ относится к шпинелидно-аносовитному типу. Преимущественно фазовый состав богатого титанового шлака представлен сложными твердыми растворами аносовитовой группы (Ti_3O_5). В этих соединениях титан присутствует в виде 2-, 3- и 4-валентных катионов. Катионы могут замещаться железом, марганцем, магнием и алюминием.

Оценена пригодность железо-титановых концентратов для производства титансодержащих ферросплавов. Судя по оценочным значениям, наиболее пригодным является шокашский ильменитовый концентрат.

В результате дифференциально-термического анализа шихтовой смеси, включающей богатый титановый шлак, кварцит и высокозольный уголь, выявлено, что восстановление богатого титанового шлака углеродом в составе исследуемой шихтовой смеси активно происходит в диапазоне температур 700-1000°C. Это подтверждается на графике зависимости. Следовательно, при

выплавке комплексных ферросплавов с титаном углетермическим способом можно применять БТШ.

Полученные данные по исследованию физико-химических свойств исследуемых шихтовых материалов дают основание сделать предположительный вывод о возможной экономической и технологической целесообразности получения комплексных ферросплавов с титаном с использованием ильменитового концентрата Шокашского месторождения, кварцита и высокозольного угля Карагандинского бассейна, а также выплавленного из концентрата богатого титанового шлака.

Для установления экономической и технологической эффективности полученного титансодержащего ферросплава необходимо проведение дальнейших исследований по получению данного сплава в укрупненно- и полупромышленных условиях, а также внедрение его в условия реального производства в качестве раскислителя и модификатора стали.

Работа выполнена на базе Карагандинского технического университета имени А. Сагинова и Химико-металлургического института имени Ж. Абишева.

Данная работа выполнена в рамках исследования, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP09058310).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тулеутай Ф.Х., Требухов С.А., Ахметова К.Ш. и др. Проблематичность переработки низкокачественных ильменитовых концентратов // Комплексное использование минерального сырья. – 2018. – № 4. – С. 77-86.
2. Исак С.К. Изучение влияния добавок солей щелочных металлов на состав и свойства титановых шлаков при переработке низкосортных ильменитовых концентратов: Дисс. ... маг.: 6M070900. – Алматы: КазНТУ, 2020. – 60 с.
3. RU 2516208 C2. МПК C22C 33/04. Титаносодержащая шихта для алюминотермического получения ферротитана, способ алюминотермического получения ферротитана и способ алюминотермического получения титаносодержащего шлака в качестве компонента титаносодержащей шихты для алюминотермического получения ферротитана / Гильварг С.И., Григо-

- рьев В.Г., Кузьмин Н.В., Мальцев Ю.Б.; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14. – 13 с.
4. Жучков В.И., Селиванов Е.Н., Сычев А.В. и др. Комплексные борсодержащие ферросплавы для микролегирования стали // Физико-химические основы металлургических процессов: сб. тр. междунар. конф. – М.: ИМЕТ РАН, 2012. – 62 с.
 5. McCusker L.B., Von Preele R.B., Cox D.E. etc. Rietveld refinement guidelines // J. Appl. Cryst. – 1999. – No. 32. – pp. 36-50.
 6. Пущаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. – М.: Геоинформмарк, 2000. – 296 с.
 7. Юровских А. С., Горбунов А.А. Оценка точности определения содержания кристаллических фаз методом Ритвельда // Сб. материалов и докл. XVII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов – молодых ученых. – Екатеринбург, 2016. – С. 282-286.
 8. Разработка технологии выплавки высокотитанистого шлака. Отчет о НИР (промежуточный) / Филиал РГП на ПХВ «НЦ КПМС РК» «Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева»: рук. Байсанов С. О.; испол.: Чекимбаев А.Ф. и др. – Караганда, 2006. – 47 с. – № ГР 0107РК00210. – Инв. № 0207РК00767.
 9. Разработка технологии выплавки низкопроцентного ферротитана из концентратов Шокашского месторождения: Отчет о НИР (промежуточный) / Филиал РГП на ПХВ «НЦ КПМС РК» «Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева»: рук. Байсанов С. О.; испол.: Толоконникова В.В. и др. – Караганда, 2007. – 80 с. – № ГР 0107РК0030. – Инв. № 0207РК01389.
 10. Нурғали Н.З. Исследование и разработка технологии получения богатого титанового шлака и ферротитана из концентратов Шокашского месторождения: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.02. – Караганда: ХМИ им. Ж. Абишева, 2009. – 138 с.
 11. Найманбаев М.А., Уласюк С.М., Смирнов К.М. и др. Состав и технологические свойства ильменитового концентрата с повышенным содержанием хрома // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – № 2. – С. 33-39.
 12. Жуман Е.Д. Минералого-геохимические особенности циркон-ильменитовых месторождений Северо-Казахстанского региона (Республика Казахстан): Дисс. ... маг.: 05.04.01. – Томск: ТПУ, 2017. – 98 с.
 13. Козлов В.М. и др. // Цветные металлы. – 1968. – № 9. – С. 69-72.
 14. Әбілберіков А.А., Нурғали Н.З., Ниқурашина Е.В., Жұмағалиев Е.У., Байсанов А.С. Исследование возможности применения богатого титанового шлака для выплавки силикотитана // Проблемы и перспективы развития горно-металлургической отрасли: теория и практика: Труды международной научно-практической конференции. Караганда, 2013. 75-79 с.

Құрамында титаны бар жаңа кешенді ферроқорытпаны карботермиялық балқыту үшін шикіқұрам материалдарының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу

¹***ВОРОБКАЛО Нина Руслановна**, докторант, nina.timirbaeva23@gmail.com,

¹**ИСАГУЛОВ Аристотель Зейнуллинович**, т.ғ.д., профессор, aristotel@kstu.kz,

²**МАХАМБЕТОВ Ерболат Нысаналыұлы**, PhD, жетекші ғылыми қызметкер, m.ye.n@mail.ru,

²**БАЙСАНОВ Алибек Сайлаубаевич**, т.ғ.к., профессор, зертхана меңгерушісі, alibekbaisanov@mail.ru,

³**ЗАЯКИН Олег Вадимович**, т.ғ.д., профессор, директордың орынбасары, zferro@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қазақстан, Қарағанды, Ермеков көшесі, 63,

³Ресей ғылым академиясының Орал бөлімшесі металлургия институты, Ресей, Екатеринбург, Амундсен көшесі, 101,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Жұмыстың мақсаты – жаңа күрделі титаны құрамды ферроқорытпаны карботермиялық балқыту үшін шикіқұрам материалдарының физика-химиялық қасиеттеріне зерттеулер жүргізу. Жұмыста келесі материалдар зерттелді: Шокаш кен орнының ильменит концентраты, бұрын осы ильменит концентратынан Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының ғалымдары әзірлеген технология бойынша балқытылған, бай титан қожы, кварцит, сондай-ақ көміртегі тотықсыздандырғыш ретінде күлі жоғары көмір қолданылды. Заманауи жабдықтағы материалдардың химиялық және фазалық құрамы зерттелді. Оның негізінде бай титан қожынан, жоғары күлді көмірден, сондай-ақ кварциттен тұратын әрі қарай зерттеулер үшін шихта қоспасының оңтайлы құрамы таңдалды. Құрамында титаны бар ферроқорытпаның карботермиялық балқытылуының негізгі мүмкіндігін, оның ішінде бай титан қожы мен оның негізіндегі қыздыру процесінде әрекетін зерттеу үшін шикіқұрам қоспасының құрамына термографиялық талдау жүргізілді.

Кілт сөздер: құрамында титаны бар ферроқорытпа, рентгендік фазалық талдау, күлі жоғары көмір, дериватографиялық талдау, шихталық материалдар, ильменит, бай титан қожы, химиялық талдау, дифференциалды-термиялық талдау.

Investigation of the Physical and Chemical Properties of Charge Materials for the Carbothermal Smelting of New Complex Titanium-Containing Ferroalloy

¹***VOROBKALO Nina**, doctoral student, nina.timirbaeva23@gmail.com,

¹**ISAGULOV Aristotle**, Dr. of Tech. Sci., Professor, aristotel@kstu.kz,

²**MAKHAMBETOV Yerbolat**, PhD, Leading Researcher, m.ye.n@mail.ru,

²**BAISANOV Alibek**, Cand. of Tech. Sci., Professor, Head of Laboratory, alibekbaisanov@mail.ru,

³**ZAYAKIN Oleg**, Dr. of Tech. Sci., Professor, Deputy Director, zferro@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Kazakhstan, Karaganda, Ermekov Street, 63,

³Institute Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Yekaterinburg, Amundsen Street, 101,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of this work is to study the physical and chemical properties of charge materials for the new complex titanium-containing ferroalloy carbothermal smelting. The following materials were studied in the work: Ilmenite concentrate of the Shokash deposit, previously smelted according to the technology developed by scientists of the Chemical and Metallurgical Institute. Zh. Abisheva from this ilmenite concentrate, rich titanium slag, quartzite, and high-ash coal was used as a carbonaceous reducing agent. The chemical and phase composition of materials was studied using modern equipment. On the basis of which, the optimal composition of the charge mixture for further research was selected, consisting of rich titanium slag, high-ash coal, and quartzite. In order to study the fundamental possibility of carbothermal smelting of a titanium-containing ferroalloy, including the behavior of rich titanium slag and charges based on it during heating, a thermographic analysis of the composition of the charge mixture was carried out.

Keywords: titanium-containing ferroalloy, X-ray analysis, high-ash coal, derivatographic analysis, charge materials, ilmenite, rich titanium slag, chemical analysis, differential thermal analysis.

REFERENCES

1. Tuleutaj F.H., Trebuhov S.A., Ahmetova K.Sh. et al. Problematichnost' pererabotki nizkokachestvennyh il'menitovyh koncentratov [Problematic processing of low-quality ilmenite concentrates]. Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ja [Integrated use of mineral raw materials]. – 2018. – no. 4. – pp. 77-86.
2. Isak S.K. Izuchenie vliyanie dobavok solej shhelochnyh metallov na sostav i svoystva titanovyh shlakov pri pererabotke nizkosortnyh il'menitovyh koncentratov: Diss. ... mag. tekhn. nauk: 6M070900. [Study of the effect of alkali metal salt additives on the composition and properties of titanium slags during the processing of low-grade ilmenite concentrates. Magistr. tech. Sci.: 6M070900 diss.]. – Almaty: KazNITU, 2020. – 60 p.
3. RU 2516208 C2. МПК C22C 33/04. Titanosoderzhashhaya shihta dlja aljuminotermicheskogo poluchenija ferrotitana, sposob aljuminotermicheskogo poluchenija ferrotitana i sposob aljuminotermicheskogo poluchenija titanosoderzhashhego shlaka v kachestve komponenta titanosoderzhashhej shihty dlja aljuminotermicheskogo poluchenija ferrotitana [Titanium-containing charge for aluminothermic production of ferrotitanium, method for aluminothermic production of ferrotitanium and method for aluminothermic production of titanium-containing slag as a component of titanium-containing charge for aluminothermic production of ferrotitanium]. Gil'varg S.I., Grigor'ev V.G., Kuz'min N.V., Mal'cev Ju.B.; opubl. 20.05.2014, Bjul. № 14. – 13 p.
4. Zhuchkov V.I., Selivanov E.N., Sychev A.V. et al. Kompleksnye borsoderzhashhie ferrosplavy dlja mikrolegirovaniya stali [Complex boron-containing ferroalloys for steel microalloying] // Fiziko-himicheskie osnovy metallurgicheskikh processov: sb. tr. mezhdunar. konf [Physical and chemical bases of metallurgical processes: collection of articles: collection of proceedings of the international conference]. – Moscow: IMET RAN, 2012. – 62 p.
5. McCusker L.B., Von Preele R.B., Cox D.E. etc. Rietveld refinement guidelines. J. Appl. Cryst. – 1999. – no. 32. – pp. 36-50.
6. Pushharovskij D.Ju. Rentgenografija mineralov [X-ray of minerals]. – Moscow: Geoinformmark, 2000. – 296 p.
7. Jurovskih A.S., Gorbunov A.A. Ocenka tochnosti opredelenija soderzhaniya kristallicheskih faz metodom Ritvel'da [Assessment of the accuracy of determining the content of crystalline phases by the Rietveld method]. Sb. materialov i dokl. XVII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy Ural'skoj shkoly-seminara metallovedov – molodyh uchenykh. – Ekaterinburg, 2016. – pp. 282-286.
8. Razrabotka tehnologii vyplavki vysokotitanistogo shlaka [Development of technology for smelting high-titanium slag]. Otchet o NIR (promezhutochnyy) / Filial RGP na PHV «NC KPMS RK» «Himiko-metallurgicheskij institut im. Zh. Abisheva»: ruk. Bajsanov S. O.; ispol.: Chekimbaev A.F. et al. – Karaganda, 2006. – 47 p. – no. GR 0107RK00210. – Inv. no. 0207RK00767.
9. Razrabotka tehnologii vyplavki nizkoprocenotnogo ferrotitana iz koncentratov Shokashskogo mestorozhdenija. Otchet o NIR (promezhutochnyy). Filial RGP na PHV «NC KPMS RK» «Himiko-metallurgicheskij institut im. Zh. Abisheva»: ruk. Bajsanov S. O.; ispol.: Tolokonnikova V.V. et al. – Karaganda, 2007. – 80 p. – no. GR 0107RK0030. – Inv. no. 0207RK01389.
10. Nurgali N.Z. Issledovanie i razrabotka tehnologii poluchenija bogatogo titanovogo shlaka i ferrotitana iz koncentratov Shokashskogo mestorozhdenija: Diss. ... kand. tehn. nauk: 05.16.02. [Research and development of technology for obtaining rich titanium slag and ferrotitanium from concentrates of the Shokash deposit. Cand. Tech.Sci.: 05.16.02] – Karaganda: HMI im. Zh. Abisheva, 2009. – 138 p.
11. Najmanbaev M.A., Ulasjuk S.M., Smirnov K.M. et al. Sostav i tehnologicheskie svoystva il'menitovogo koncentrata s povyshennym soderzhanijem hroma [Composition and technological properties of ilmenite concentrate with high chromium content]. Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ja [Integrated use of mineral raw materials]. – 2016. – No. 2. – pp. 33-39.
12. Zhuman E.D. Mineralogo-geohimicheskie osobennosti cirkon-il'menitovyh mestorozhdenij Severo-Kazahstanskogo regiona (Respublika Kazahstan): Diss. ... mag. tehn. nauk: 05.04.01. [Mineralogical and geochemical features of zircon-ilmenite deposits of the North Kazakhstan region (The Republic of Kazakhstan): Magistr. tech. Sci.: 6M070900 diss.] – Tomsk: TPU, 2017. – 98 p.
13. Kozlov V.M. et al. Cvetnye metally [Non-ferrous metals]. – 1968. – No. 9. – pp. 69-72.
14. Abilberikov A.A., Nurgali N.Z., Nikurashina E.V., Zhumagaliev E.U., Bajsanov A.S. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya bogatogo titanovogo shlaka dlja vyplavki silikotitana [Study of the possibility of using rich titanium slag for smelting silicotitanium] // Problemy i perspektivy razvitiya gorno-metallurgicheskoy otrasli: teorija i praktika: Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Problems and prospects for the development of the mining and metallurgical industry: theory and practice: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Karaganda, 2013. pp. 75-79.