

М. А. НАЙМАНБАЕВ^{1*}, С. М. УЛАСЮК¹, К. М. СМИРНОВ²,
М. И. ОНАЕВ¹, К. К. КАСЫМЖАНОВ¹

¹АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», Алматы, *madali_2011@inbox.ru

²АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии»,
Москва, Россия

СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЛЬМЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА

Изучен вещественный состав и технологические свойства ильменитового концентрата Обуховского месторождения. Установлено, что основной железо-титаносодержащий минерал – ильменит в результате вторичных процессов в значительной степени превратился в псевдорутил. Зерна ильменита имеют зональное строение, обусловленное наличием центральной неизменной части в виде ильменита и наружного лейкоксенизированного слоя – псевдорутила. Содержание железо-титаносодержащих минералов в концентрате составляет 87 %. Основная примесь в концентрате – алюмохромит (до 10 %). При оценке технологических свойств изучены брикетированность и восстановимость ильменитового концентрата. В качестве восстановителя использованы металлургический кокс и спецкокс, полученный из угля Шубаркольского месторождения. При сопоставлении степени восстановления ильменитового концентрата металлургическим коксом и спецкоксом, полученным из шубаркольского угля, показано, что лучшей реакционной способностью обладает спецкокс. Определены условия брикетирования: степень измельчения восстановителя – 70 % по классу 0,074 мм, в качестве связующего использована бентонитовая глина в количестве 1 % от массы концентрата. Показано, что степень восстановления ильменита в брикетах по сравнению с порошкообразной шихтой выше на 6-8 %, что достигалось созданием тесного контакта восстановителя и концентрата при брикетировании. При 1000 °С оксиды железа в брикетах восстанавливаются на 39,7 %, а в порошковой шихте – на 32,6 %. Установлена оптимальная температура восстановительного обжига 1250–1300 °С. При этом в магнитную фракцию извлекается более 90 % железа металлического. В немагнитной фракции остаются диоксид титана и триоксид хрома. При повышении температуры обжига более 1300 °С в магнитную фракцию начинают извлекаться диоксид титана и триоксид хрома.

Ключевые слова: ильменитовый концентрат, псевдорутил, алюмохромит, брикетирование, восстановление, спецкокс, металлургический кокс, оксид хрома, оксид железа.

Введение. Переработка хромсодержащих ильменитовых концентратов ряда месторождений (Обуховское, Шокаш), имеющих в Казахстане, стала актуальна вследствие снижения поставок из традиционных сырьевых источников титана, поступающих ранее из стран СНГ и дальнего зарубежья. Высокое содержание хрома в ильменитовых концентратах затрудняет процессы дальнейшей переработки их на титаносодержащий шлак, тетрагидрид титана и губчатый титан из-за перехода хрома в отходы производства, что осложняет условия их хранения и утилизации. В связи с этим возникает необходимость предварительной глубокой очистки таких концентратов от вредных примесей.

Используя обжиг-магнитный метод, титановые концентраты можно очистить от хрома. С помощью магнетизирующего обжига железо ильменита переводят в магнетит или частично в металлическое состояние, не затрагивая при

этом железо химически более инертного хромита, который при магнитной сепарации как слабомагнитный минерал остается в немагнитной фракции [1-6].

В связи с истощением природных ресурсов во многих странах применяется способ обогащения ильменитовых концентратов путем восстановительного обжига и последующего кислотного выщелачивания с целью получения искусственного рутила [7-9]. Технологический процесс получения искусственного рутила состоит из следующих основных операций: восстановительного обжига ильменитового концентрата для перевода содержащихся в нем ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} в Fe^0 , электромагнитной сепарации восстановленного концентрата с выделением металлического железа – основной примеси, выщелачивания железа из немагнитной фракции слабой серной, соляной кислотами, или обработкой другими реагентами ($FeCl_3$, NH_4Cl ,

TiCl₄ и др.), регенерации используемых для вскрытия концентрата выщелачивающих агентов. В результате восстановительного обжига и выщелачивания содержание TiO₂ в конечном продукте возрастает до 95-98 %. По этой схеме работают заводы в Австралии, США, Японии и других странах.

В полупромышленных условиях [10] восстановленный концентрат выщелачивают 20-25%-ой соляной кислотой при 103-105 °С, Т:Ж = 1:2 и выдержке 2,5-3 ч. Полученный концентрат после прокаливания при 800-900 °С и магнитной сепарации содержит 95-96 % TiO₂ рутильной формы при извлечении ее из исходного концентрата 98,2 %. Выщелачивание проводят в две стадии. Маточный раствор содержит, г/дм³: FeCl₂ – 365; FeCl₃ – 6,4; HCl_{св} – 25,6 и SiO₂ – менее 0,05. При этом ванадий выщелачивается на 70 %.

Таким образом, наиболее широкое промышленное применение получают способы, основанные на предварительном углетермическом восстановлении исходных концентратов при 900-1200 °С, с последующим выделением из них восстановленного железа и других примесей. Выделение проводят с помощью электромагнитной сепарации и выщелачивания примесей из немагнитного остатка. Получаемые при этом обогащенные по титану концентраты содержат до 94-98 % TiO₂.

Отечественные концентраты менее качественные, чем импортные, имеют сложный химико-минералогический состав с различным содержанием диоксида титана и примесных компонентов в виде оксидов железа, хрома, кремния, ванадия и других металлов. Сочетание восстановительного обжига и магнитной сепарации получаемых огарков с последующей гидрометаллургической переработкой немагнитной титано-хромовой фракции позволит выделить диоксид титана избирательно и дешевле, повысить селективность разделения железа и хрома.

Цель данной работы – исследование физико-химических и технологических свойств ильменитового концентрата Обуховского месторождения.

Методика проведения эксперимента. Исследование исходной пробы ильменитового концентрата было проведено с применением комплекса физико-химических методов анализа:

гранулометрического, химического, рентгенофазового, минералогического, электронно-зондового, термогравиметрического. При этом использованы приборы: рентгеновский дифрактометр BRUKER D8 ADVANCE (Германия), электронный растровый микроскоп с микроанализатором JEOL JXA-8230 фирмы «JEOL» (Япония), синхронный термический анализатор STA 449 F3 Jupiter (нагрев проб проходил со скоростью 10 °С/мин в среде аргона в диапазоне температур от 0 до 1400 °С).

Исследования по восстановлению ильменитового концентрата проводили в лабораторной трубчатой печи Nabertherm (GmbH, Германия). Методика проведения опытов по восстановительному обжигу следующая. Смесь концентрата и кокса засыпали в графитовый тигель и помещали в рабочую зону печи. Для создания восстановительной атмосферы печь продували аргоном, нагревали до требуемой температуры и выдерживали при ней 120 мин. После восстановления тигель охлаждали до комнатной температуры вместе с печью. Полученный огарок подвергали магнитной сепарации с целью выделения восстановленного железа, продукты магнитной сепарации подвергали химическому анализу на содержание металлического и общего железа. По содержанию металлического и общего железа рассчитывали степень восстановления оксидов железа из концентрата.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. По результатам химического анализа ильменитовый концентрат состоит на 88,17 % из оксидов титана и железа (таблица 1). В качестве примесей в нем присутствуют оксиды хрома, алюминия, марганца, кремния.

Таблица 1 – Химический состав ильменитового концентрата

Компоненты / Содержание, %												
TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	V ₂ O ₅	ZrO ₂	P ₂ O ₅	п.п.п.	
58,8	26,29	3,08	4,39	1,24	2,76	1,03	1,18	0,13	0,58	0,32	0,20	

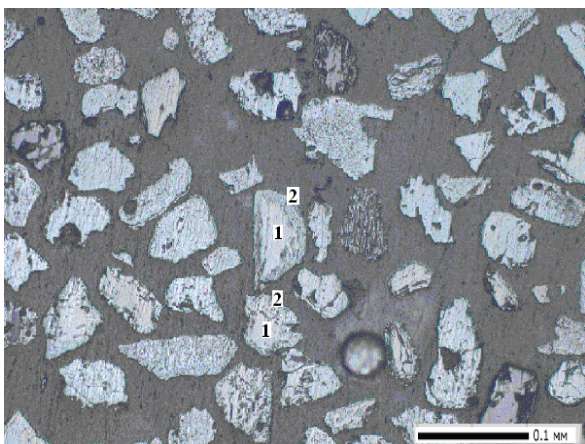
Гранулометрический анализ исходной пробы показал, что ильменитовый концентрат на 96 % представлен мелкозернистым материалом крупностью 0,056+0,040 мм и содержит, %: 58,7 – TiO₂; 23,7 – Fe₂O₃ и 4,35 – Cr₂O₃ (таблица 2).

Таблица 2 – Гранулометрический состав ильменитового концентрата

Класс крупности, мм	Выход, %	Суммарный выход, %	Содержание, %			Распределение, %		
			TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
+0,056	3,05	3,05	50,4	21,6	3,98	2,63	2,79	2,8
-0,056+0,040	96,23	99,28	58,7	23,7	4,35	96,68	96,5	96,5
-0,040+0,0	0,72	100	55,6	23,5	4,21	0,69	0,71	0,7
Итого:	100		58,4	23,6	4,34	100,0	100,0	100,0

Минералогическое изучение показало, что концентрат в основном представлен железо-титановыми минералами в виде ильменита и псевдуртила, количество которых достигает 87 %. Кроме этого в концентрате присутствуют зерна циркона (1,5-2,0 %), рутила (1 %), остальное – нерудные минералы – кварц, полевые шпаты. Зерна концентрата имеют угловатую, полуокатанную форму, поверхность их корродированная, ямчатая.

Отличительная особенность исследуемого концентрата заключается в том, что основной минерал – ильменит в результате вторичных процессов частично преобразовался в псевдуртил. Зерна ильменита имеют зональное строение, обусловленное наличием центральной неизменной части в виде ильменита и наружного лейкоксенизированного слоя - псевдуртила. Ильменит (1) замещается псевдуртилом (2), который образует каемки вокруг зерен ильменита до полного его замещения (рисунок 1).



Зерна ильменита (1) с каймой псевдуртила (2) под микроскопом в отраженном свете

Рисунок 1 – Основные минеральные фазы, обнаруженные в ильменитовом концентрате

Результаты минералогического анализа подтверждены данными рентгенофазового анализа. Титан представлен псевдуртилом и ильменитом, хром – минералами группы шпинели, а именно, алюмохромитом и хромитом (таблица 3, рисунок 2).

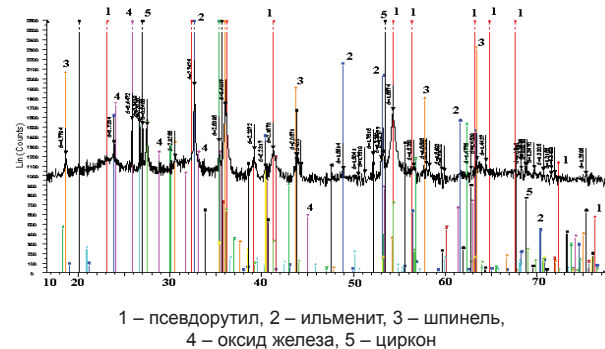


Рисунок 2 – Дифрактограмма ильменитового концентрата

Таблица 3 – Результаты рентгенофазового анализа ильменитового концентрата

Наименование минерала	Формула	Массовая доля, %
Псевдуртил	Fe ₂ Ti ₃ O ₉	53,9
Ильменит	FeTiO ₃	13,6
Триоксид железа	Fe ₂ O ₃	12,2
Оксид железа	FeO	3,0
Рутил	TiO ₂	2,9
Кварц	SiO ₂	2,6
Циркон	ZrSiO ₄	1,5
Алюмохромит	Fe(Al,Cr) ₂ O ₄	6,2
Хромит	FeCr ₂ O ₄	4,1

Микроструктуры образцов исходного ильменитового концентрата представлены на рисунке 3 (перекрестия указывают на места проведения микроанализа). С применением электронно-зондовых исследований определен средний химический состав зерна ильменита (рисунок 3 а), мас. %: Ti – 28,01; Fe – 32,32; O – 39,1; Mn – 3,05; Mg – 0,6; менее 0,5 % приходится на долю Al, Si; псевдуртила (рисунок 3 б), мас. %; Ti – 36,1; Fe – 14,36; O – 45,93; Mn – 1,91; V – 0,233, менее 1 % приходится на долю Al, Si, Ca; алюмохромита (рисунок 3 в), мас. %: Ti – 0,65; Fe – 16,7; Cr – 34,1; O – 43,1; Mg – 2,32; Al – 4,13.

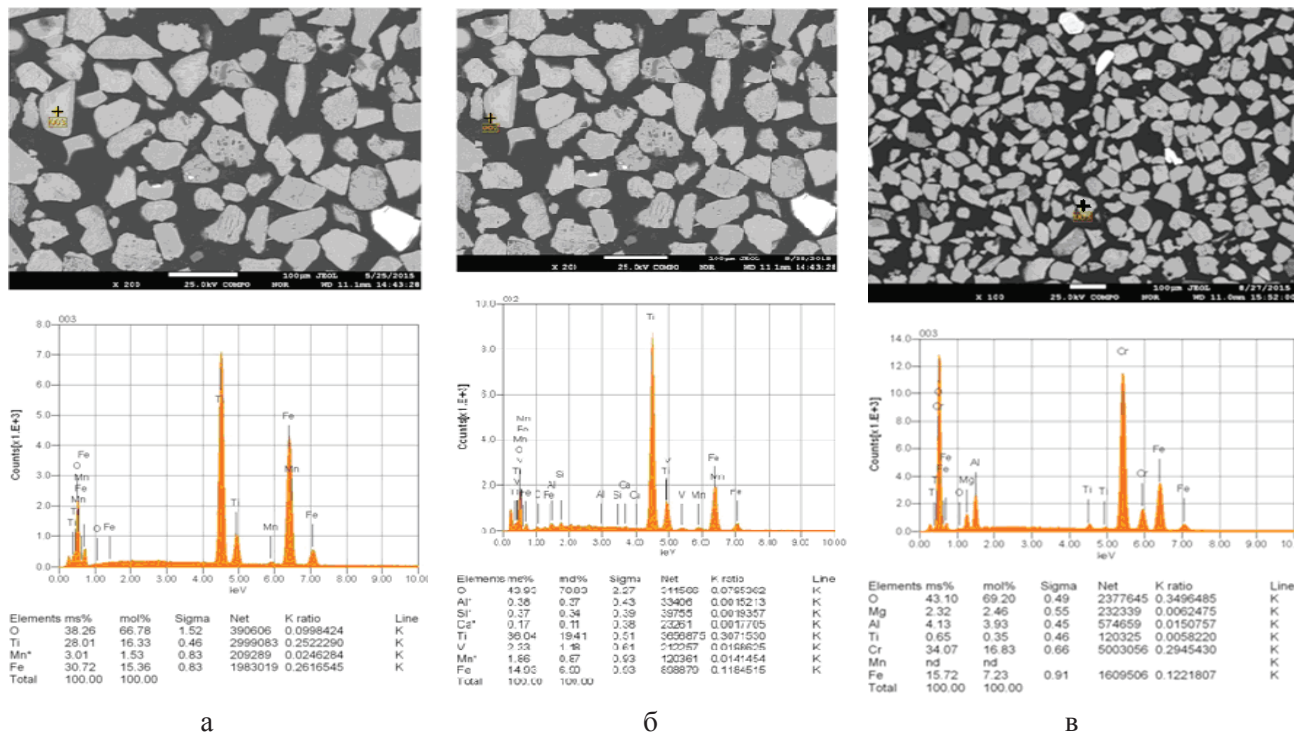
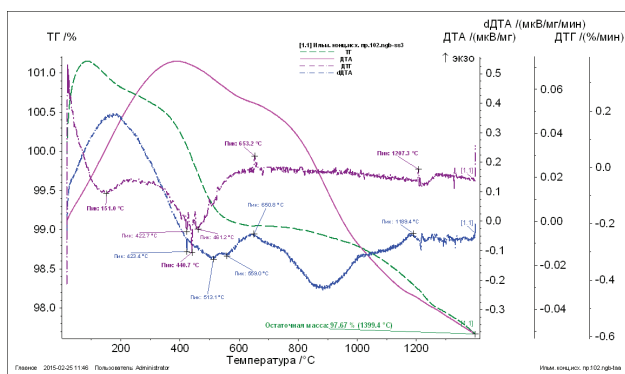


Рисунок 3 – Результаты ЭДС-анализа с площади зерна ильменита (а), псевдуротила (б) и алюмохромита (в)

Результаты термического исследования Обуховского ильменитового концентрата приведены на рисунке 4.



TG – изменение массы образца; DTG – скорость изменения массы образца; ДТА – термический эффект реакции; dDTA – производная от ДТА, полученная с помощью программного обеспечения.

Рисунок 4 – Дериватограмма обжига пробы ильменитового концентрата

Кривая TG демонстрирует плавное снижение массы на всем протяжении нагрева с замедлением процесса в области температур 600-1000 °C. На кривой DTG проявился ряд минимумов в области температур 400-600 °C. Скорее всего здесь идут процессы удаления химически связанной влаги из псевдуротила и примесей различных гидроксидов железа. Слабые максимумы при 653 °C

и 1207 °C – окисление двухвалентного железа остаточным кислородом. На кривой dDTA дегидратации гидроксидов железа соответствуют слабые эндотермические эффекты с экстремумами при 423, 513, 559 °C. Экзотермические эффекты низкой интенсивности с пиками при 651 и 1189 °C так же, как и максимумы на DTG, отражают окисление двухвалентного железа остаточным кислородом. Уменьшение массы ильменитового концентрата при прокаливании и выдержке в интервале от 3 до 100 °C составляет 0,7 %, от 200 до 500 °C потеря массы – 2,5 %, от 500 до 1000 °C – плавно возрастает до 2,8 %. Снижение массы до ~500 °C идет за счет потери адсорбированной воды псевдуротилом. Затем масса уменьшается до окончания нагрева за счет потери кристаллизационной воды и адсорбированного азота. Такое плавное снижение массы без видимых эффектов на ДТА также может означать наличие аморфных фаз. Возможно, ильменит сильно окислирован и содержит мало Fe²⁺ и достаточно много аморфных составляющих.

При оценке технологических свойств концентрата определялись его брикетированность и восстановимость твердыми восстановителями. В качестве восстановителей использовали метал-

лургический кокс и спецкокс, полученный из угля Шубаркольского месторождения.

Опыты проводили на шихте следующего состава: порошковый ильменитовый концентрат (100 г) и восстановитель (20 %) в виде порошка крупностью 0,074 мм. Исходные материалы перед восстановительным обжигом тщательно перемешивались. Количество восстановителя рассчитывали, исходя из полного восстановления оксидов железа.

Проведены исследования по определению степени восстановления оксидов железа из ильменитового концентрата в зависимости от вида восстановителя (спецкокс и металлургический кокс), времени выдержки (20, 40, 60, 80, 100, 120 мин), постоянной температуры 1000 °С. Результаты представлены на рисунке 5 (кривые 1 и 2).

Сопоставление степени восстановления ильменитового концентрата металлургическим коксом и спецкоксом (рисунок 5, кривые 1 и 2) показали, что лучшей реакционной способностью обладает спецкокс.

Интенсификация процесса восстановления ильменита может быть достигнута совместным брикетированием ильменитового концентрата и восстановителя. В качестве связующего использовалась бентонитовая глина.

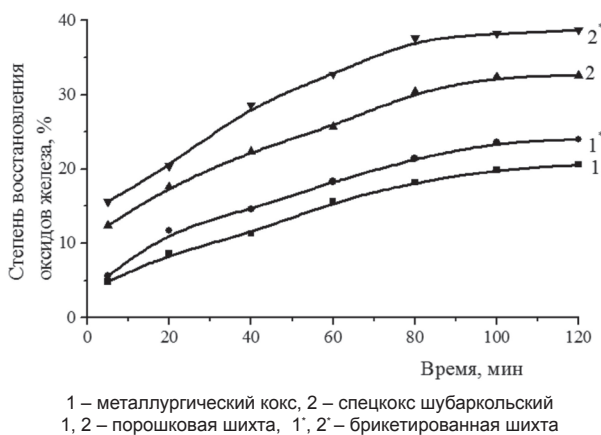


Рисунок 5 – Зависимость степени восстановления оксидов железа от продолжительности процесса, вида восстановителя и способа подготовки шихты

Условия брикетирования были следующие: степень измельчения концентрата и восстановителя 80 % по классу 0,074 мм, количество и вид связующего – бентонитовая глина в количестве 1 % от массы концентрата. Прочность брикетов зависит от давления при прессовании, которое, согласно нашим исследованиям, должно быть порядка 100 кг/см². Кроме того, установлено, что прочность брикетов зависит также от влажности

и пластичности шихты. Уменьшение остаточной влажности до 2-1 % позволяет увеличить прочность брикетов почти в два раза, однородность шихты улучшает ее пластичность. Полученные брикеты имели цилиндрическую форму и размер 15 x 18 мм и обладали удовлетворительной прочностью. Сушка брикетов осуществлялась при температуре 100-110 °С до постоянного веса.

При определении зависимости свойств брикетов от количества связующего установлено, что увеличение в шихте бентонитовой глины до 3 % повышает прочность брикетов до 200 кг/см². Наибольшая прочность брикетов получается при таком количестве связующего, которое обеспечивает покрытие тонким слоем всех частиц материала. С увеличением давления прессования прочность брикетов повышается тем сильнее, чем менее окатан материал. С уменьшением тонины помола концентрата требуется значительно меньшая величина давления, необходимого для получения брикетов достаточной прочности. Угловатая форма частичек концентрата и их большая измельченность позволяют получать брикеты более прочными и с небольшим расходом связующего (1 %).

Степень восстановления ильменита в брикетах повышается по сравнению с порошкообразной шихтой на 6-8 % (рисунок 5, кривые 1* и 2*), что достигается созданием тесного контакта восстановителя и концентрата при брикетировании. При температуре 1000 °С оксиды железа в брикетах восстанавливаются на 39,7 %, а в порошковой шихте – на 32,6 % (рисунок 5, кривые 2 и 2*).

На рисунке 6 показано влияние температуры на извлечение в магнитную фракцию железа металлического, диоксида титана и триоксида хрома. В интервале температур 1250–1300 °С

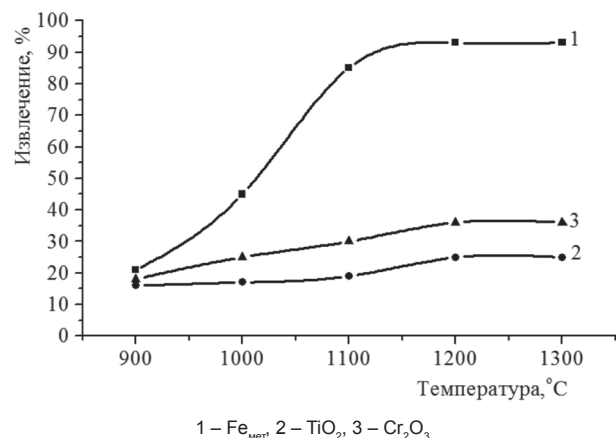


Рисунок 6 – Влияние температуры восстановительного обжига ильменитового концентрата на извлечение в магнитную фракцию

извлечение в магнитную фракцию железа металлического составляет около 90 %. Но при температуре выше 1300 °С в магнитную фракцию начинают переходить частично диоксид титана 25 % и триоксид хрома 36 %. Большая часть диоксида титана и триоксида хрома остается в немагнитной фракции.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что ильменитовый концентрат представлен на 96,7 % тонкозернистым материалом крупностью 0,056+0,040 мм. Распределение основных компонентов по классам крупности пропорционально их выходам, что говорит об однородности ильменитового концентрата. Показано, что основной железотитаносодержащий минерал – ильменит в результате вторичных процессов в значительной степени замещается псевдорутилом, образуя каемки вокруг зерен ильменита до полного его замещения. Сумма рудных минералов составила 95–96 %. Около 1,5–2,0 % составляет циркон, менее 1 % – рутил, остальное – нерудные минералы. По данным рентгенофазового анализа содержание ильменита составляет 13,6 %, псевдорутила 54 %. Хром представлен в концентрате минералами группы шпинели – алюмохромитом и хромитом, по результатам анализа в сумме они составляют около 10 %. Определен состав зерна ильменита, %: Ti – 28,01; Fe – 32,32; O – 39,1; Mn – 3,05; Mg – 0,6; менее 0,5 % приходится на долю Al, Si; псевдорутила, %: Ti – 36,1; Fe – 14,36; O – 45,93; Mn – 1,91; V – 0,23, менее 1 % приходится на долю Al, Si, Ca; алюмохромита, %: Ti – 0,65; Fe – 16,7; Cr – 34,1; O – 43,1; Mg – 2,32; Al – 4,13.

Сопоставление степени восстановления ильменитового концентрата металлургическим коксом и шубаркольским спецкоксом показало, что лучшей реакционной способностью обладает спецкокк. Степень восстановления ильменитового концентрата в брикетах по сравнению с порошкообразной шихтой повышается на 4–8 % за счет тесного контакта восстановителя и концентрата при брикетировании. При 1000 °С оксиды железа в брикетах восстанавливаются на 38,7 %, а в порошковой шихте – на 32,6 %. Установлена оптимальная температура восстановительного обжига 1250–1300 °С. При этом в магнитную фракцию извлекается около 90 % железа металлического. В немагнитной фракции остаются диоксид титана и триоксид хрома. При повышении температуры обжига более 1300 °С в магнитную фракцию начинают извлекаться диоксид титана и триоксид хрома.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Мовсесов Э.Е., Крамник В.Ю., Задорожный В.Г., Бухвалов Н.П., Тищенко А.Г. Магнетизирующий обжиг хромсодержащего железо-титанового концентрата. - В сб. Проблемы металлургии титана. – М: Наука, 1967. – С. 20-27.
- 2 Сысолятин С.А. Получение высококачественных ильменитовых концентратов обжиг-магнитным способом // Проблемы металлургии титана. – М.: Наука, 1967. – С. 19-20.
- 3 Попов В.А., Серегин П.С., Цемехман Л.Ш., Барсегян В.В. Исследование процессов восстановительного обжига ильменитовых концентратов месторождения «Центральное» // Металлы. – 2011. – № 1. – С.3.
- 4 Кантемиров М.Д., Лысый М.А. Обжиг-магнитное разделение хром-титанового промпродукта обогащения титановой россypi // Комплексное использование минерального сырья. – 2002. – № 3. – С. 30-34.
- 5 Шишлякова К.Н. Изучение возможности разделения титана и хрома при окислительно-восстановительном обжиге ильменит-хромит-гематитового концентрата Лукояновского месторождения // 8 Российская. ежегод. конф. молод. науч. сотр. и аспирантов. Физикохимия и технология неорганических материалов: сб. материалов. – Москва, Россия, 2011. – С. 563-564.
- 6 Пупышев А.М., Попов И.О., Устинов С.М. Исследование основных закономерностей фазового распределения железа и титана в условиях низкотемпературного восстановления ильменитового концентрата // Цветная металлургия. – 2011. – № 10. – С. 12-17.
- 7 Пат. 649946 Австралия. Получение синтетического рутила / Holliff M.J., Grey I.E. Wimmera Industrial Minerals PTY Ltd. № 44588/93, опубл. 02.06.1994, Бюл. № 7. – 2 с.
- 8 Пат. 5679131 США. Способ производства оксида титана из рудных концентратов / Obushenko I.M.; опубл. 21.10.1997, Бюл. № 10. – 3 с.
- 9 Карелин В.А., Карелин А.И. Фторидная технология переработки концентратов редких металлов. – Томск: НТЛ, 2004. – 221 с.
- 10 John David Winter. ERMS – обжиговой процесс: технология выделения высокочистого ильменита из тяжелых минеральных концентратов // Murrey Basin Mineral Sands Conference: proceedings – Mildura, Victoria, Australia, 1999. – С.125-128.

REFERENCES

- 1 Movsesov E.E., Kramnik V.Iu., Zadorozhnyi V.G., Bukhvalov N.P., Tishchenko A.G. *Magnetiziruiushchii obzhig khromsoderzhashchego zhelezo-titanovogo kontsentrata* (Magnetic-roasting iron-titanium concentrate). V sb. Problemy metallurgii titana. Moscow: Nauka (Science). 1967. 20-27 (in Russ.).
- 2 Sysolyatin S.A. *Poluchenie vysokokachestvennykh il'menitovykh kontsentratov obzhig-magnitnym sposobom* (Getting a high grade ilmenite concentrate roasting-magnetic method) - V sb. Problemy metallurgii titana. Moscow: Nauka (Science). 1967. 19-20 (in Russ.).
- 3 Popov V.A., Seregin P.S., Tsemekhman L.Sh., Barssegyan V.V. *Issledovanie protsessov vosstanovitel'nogo obzhiga il'menitovykh kontsentratov mestorozhdeniya «Tsentral'noe»* (Study on recovery of ilmenite concentrate roasting processes of "Central") *Metally = Metals*. 2011. 1. 3 (in Russ.).
- 4 Kantemirov M.D., Lysyi M.A. *Obzhig-magnitnoe razdelenie khrom-titanovogo promprodukta obogashcheniya titanovoi rossypi* (Roasting-magnetic separation of chromium-titanium

promprodukta enrichment of titanium placer). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral resources*. **2002**. 3, 30-34 (in Russ.).

5 Shishlyakova K.N. *Izuchenie vozmozhnosti razdeleniya titana i khroma pri oksislitel'no-vosstanovitel'nom obzhige il'menit-khromit-gematitovogo kontsentrata Lukoyanovskogo mestorozhdeniya* (Studying the feasibility of separating titanium and chromium in oxidative-reductive firing of ilmenite-chromite-hematite concentrate Lukoyanovskogo deposits). *8 Rossiiskaya ezhegod. konf. molodykh uchenykh. Fizikokhimiya i tekhnologiya neorganicheskikh materialov: sb mater.* (8th Russian annual conf. of young scientists. Physics-chem. and technol. of inorganic materials: proceedings) Moscow, Russia. **2011**. 563-564 (in Russ.).

6 Pupyshev A.M., Popov I.O., Ustinov S.M. *Issledovanie osnovnykh zakonomernostei fazovogo raspredeleniya zheleza i titana v usloviyakh nizkotemperaturnogo vosstanovleniya il'menitovogo kontsentrata*. (Study of the basic laws of the phase distribution of iron and titanium in conditions of low temperature

recovery of ilmenite concentrate). *Tsvetnaya metallurgiya = Non-ferrous metallurgy*. **2011**. 10, 12-17 (in Russ.).

7 Pat.649946 Australia, *Poluchenie sinteticheskogo rutila* (Obtain synthetic rutile). Holliff M.J., Grey I.E. Wimmera Industrial Minerals PTY Ltd. № 44588/93, Publ. **1994**, 7 (in Russ.).

8 Pat. 5679131 USA. *Sposob proizvodstva oksida titana iz rudnykh kontsentratov* (Method of manufacturing titanium oxide ore concentrates). Obushenko I.M. Publ. **1997**, 10 (in Russ.).

9 Karelin V.A., Karelin A.I. *Ftoridnaya tekhnologiya pererabotki kontsentratov redkikh metallov*. (Fluorine technology of processing of concentrates of rare metals). Tomsk: NTL, **2004**, 221 (in Russ.).

10 John David Winter. *ERMS - obzhigovyi protsess: tekhnologiya vydeleniya vysokochistogo il'menita iz tyazhelykh mineral'nykh kontsentratov* (ERMS - the firing process: technology for selection of high-purity ilmenite from heavy mineral concentrates) Murrey Basin Mineral Sands Conference: proceedings – Mildura, Victoria, Australia. **1999**. 125-128 (in Eng.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Обуховка кенорнының ильменитті концентраттарының технологиялық ерекшеліктері мен заттық құрамы зерделенді. Қайталанған процесстердің нәтижесінде ильменит – негізгі темір-титанқұрамдас минералдар айтарлықтай дәрежеде псевдорутилға айналатындығы анықталды. Ильменит түрінде және псевдорутилдің – сыртқы лейкоксенизирленген қабаттың орталық өзгертілмеген бөлігінің бар болуын қамтамасыз ететін, ильменит түйіршігінің аймақтық түзілу болады. Концентратта темір-титанқұрамдас минералдардың құрамы - 87% құрайды. Концентратта негізгі қоспа алюмхромит (10% дейін). Технологиялық ерекшеліктерді бағалау кезінде ильменитті концентраттарды кесекшелеу және тотықсыздау зерделенді. Тотықсыздағыш ретінде Шұбаркөл кенорнының көмірінен алынған, металлургиялық кокс және арнайыкокс қолданылды. Ильменитті концентраттарды шұбаркөл көмірінен алынған, металлургиялық кокспен және арнайыкокспен тотықсыздау дәрежесін салыстыру кезінде, арнайыкокс жақсы реакциялық қабілеттілігі бар екендігі көрсетілді. Кесекшелеу шарттары анықталды: тотықсыздағышты ұсақтау дәрежесі - 70% класы бойынша – 0,074мм, байланыстырушы ретінде концентраттың салмағынан 1% көлемінде бентонитті сазы қолданылды. Кесекшелерде ильмениттің тотықсыздану дәрежесі унтақтүріндегі шикіқұраммен салыстырғанда 6-8% жоғары, тотықсыздағыш пен концентратты кесекшелеу кезінде тығыз байланысты жасауға жету екендігі көрсетілді. Кесекшелерде темір оксидтері 1000°C кезінде 39,7% тотықсызданады, ал унтақ шикіқұрамда – 32,6%. Тотықсыздап күйдірудің тиімді температурасы анықталды – 1250-1300°C. Сонымен бірге магнитті фракцияға 90% жоғары металдық темір алынады. Магнитті емес фракцияға диоксид титан мен тироксид хром қалады. Күйдіру температурасын 1300°C жоғарлатқан кезде диоксид титан мен триоксид хром магнитті фракцияға алына бастайды.

Түйінді сөздер: ильменитті концентрат, псевдорутил, алюмхромит, кесекшелеу, тотықсыздау, арнайыкокс, металлургиялық кокс, хром оксиді, темір оксиді.

SUMMARY

The substantial composition and technological properties of the ilmenite concentrate of the Obukhov deposit were studied. It was found out that ilmenite as the main mineral containing iron-titanium transformed substantially into pseudorutile due to secondary processes. Ilmenite grains have a zonal structure caused by presence of the central unaltered part in the form of ilmenite and the outer leucogenized layer in the form of pseudorutile. The content of minerals containing iron and uranium in the concentrate is 87 %. The main impurity in the concentrate is alumochromite (up to 10 %). The briquetting capacity and recoverability of ilmenite concentrate were studied during assessment of technological properties. Special coke and metallurgical coke from the Shubarkol coal deposit were used as a reducing agent. At comparing the reduction degree of the ilmenite concentrate by using special coke and metallurgical coke from the Shubarkol coal it was found out that special coke had the best reactivity. The briquetting conditions were determined: the size of grinding of a reducing agent – 70 % under class - 0.074 mm; bentonite clay was used as a binder in the amount of 1 % by weight of the concentrate. The degree of ilmenite reduction in briquettes in comparison with the powdered charge is 6-8 % more, which was achieved due to the close contact between the reducing agent and concentrate during briquetting. At 1000 °C the iron oxides in briquettes are recovered at the level of 39.7 %, and in the powdered feed – 32.6 %. Established optimum temperature of reduction roasting is 1250–1300 °C. While more than 90 % of metal iron is extracted into the magnetic fraction. Non-magnetic fraction contains titanium dioxide and chromium trioxide. At firing temperature increase more than 1300 °C titanium dioxide and chromium trioxide begin to extract into the magnetic fraction.

Keywords: ilmenite concentrate, pseudorutile, alumochromite, briquetting, reduction, special coke, metallurgical coke, chromium oxide, iron oxide.

Поступила 05.04.2016