

УДК 641.23+669.295
МРНТИ 53.37.35
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.33>

Комплексное использование
минерального сырья. № 4.2018.
ISSN 2616-6445 (Online), ISSN 2224-5243 (Print)

Ф. Х. ТУЛЕУТАЙ¹, *С. А. ТРЕБУХОВ^{1,2}, К. Ш. АХМЕТОВА^{1,2}, А. В. НИЦЕНКО^{1,2}, Н. М. БУРАБАЕВА^{1,2}

¹Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан, * e-mail: vohubert@mail.ru

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

ПРОБЛЕМАТИЧНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИЛЬМЕНИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Received: 20 August 2018 / Peer reviewed: 20 September 2018 / Accepted: 20 October 2018

Резюме. Сертифицированными методами анализа химического, фракционного, гранулометрического и минералогического состава определены важнейшие технологические критерии, препятствующие реализации накопленного в количестве 4,5 тысяч тонн ильменитового концентрата Обуховского месторождения. Установлено, что высокое содержание триоксида хрома (более 8 мас. %), триоксида железа (свыше 29 мас. %), диоксида кремния (3,9 мас. %) и несоответствие регламентируемым требованиям массовой доли диоксида титана (около 52 %) обуславливают низкое качество и неприемлемость передела концентрата традиционным методом восстановительной электроплавки, применяемой для производства титанового шлака. Присутствие большого количества нерастворимого в кислотах рутила, до 17 мас. % в песковой и около 27 мас. % в ильменитовой фракции, исключает возможность вовлечения в переработку лейкоксенизированного высокохромистого концентрата сернокислотным методом разложения, используемого для получения пигментного диоксида титана. Кроме того, трудность переработки концентрата сопряжена с чрезвычайно тонкой вкрапленностью и тесной ассоциацией рутила и псевдоморфных разновидностей лейкоксенизированного ильменита (аризонита, псевдобрукита) с рудными и нерудными минералами, что предопределяет совместное сосредоточение основной массы титана, железа, хрома, других сопутствующих элементов и чуть меньшей половины всего количества кремния (44,34 мас. %) в сростках зёрен минералов крупностью $-0,063+0,044$ мм. Подобраны оптимальные условия дезинтеграции зёрен минералов, обеспечивающие в процессе кратковременной, в течение 10-15 минут, механоактивации увеличение в гранулометрическом составе концентрата до 90-95 % класса $-0,063+0,044$ мм в результате быстрого разрушения крупных сростков минеральных индивидов. Поисковыми исследованиями показано, что, несмотря на тонину помола, значительная лейкоксенизация ильменита обуславливает низкую, всего 47-50 %, степень вскрытия активированного концентрата сернокислотным методом разложения.

Ключевые слова: ильменитовый концентрат, лейкоксен, диоксид титана, восстановительная электроплавка, сернокислотное разложение

Введение. Титан и его сплавы, обладающие превосходными физико-химическими свойствами, являются ключевыми, во многих случаях, безальтернативными конструкционными материалами в машино-, авиа-, ракето-, судостроении, атомной энергетике и других стратегических отраслях промышленности [1-5]. Применение титановых сплавов позволило создать уникальные образцы авиакосмической и глубоководной морской техники, обеспечило прорыв во многих отраслях экономики в XX веке. Спектр высокотехнологичных и наукоёмких отраслей промышленности, применяющих титан и титановые сплавы, активно расширяется, благодаря созданию перспективных, высокоэффективных конструкционных материалов нового поколения, способных работать при температурах от -196 до $+600$ °C [6].

В настоящее время доминирующим потребителем конструкционных титановых изделий является аэрокосмическая отрасль, пигментного диоксида титана – лакокрасочная, пластмассовая, бумажная и прочая индустрия [7, 8].

По сообщению таможенных комитетов мира, объём мировой торговли титаном и титановой продукцией в 2016 году составил 234,3 тыс. тонн, в денежном выражении – 5 млрд. долларов [9]. По оценкам председателя компании AirbusIndustries Джонатана Скоффилда, количество самолетов, используемых в гражданской авиации, вырастет к 2019 году почти в два раза – до 19 тыс. Согласно прогнозу председателя компании RTI International-MetalsInc Dawne Hickton, возрастающее применение в производстве новых моделей широкофюзеляжных авиалайнеров сравнительно лёгких и прочных, укрепленных углеродным

волокном полимерных материалов (CFRP), совместимых с титаном, но не с алюминием, будет способствовать двукратному росту потребности в нём в течение следующих 10 лет.

В последние годы в результате прекращения производства диоксида титана крупными производителями в Европе и Китае и передела мирового рынка образовался значительный дефицит белого пигмента, что обусловило, начиная со II половины 2016 и до середины 2017 гг., стремительный, от 40 до 70 %, рост цен различных марок продукта. Согласно обнародованным планам производителей эта тенденция сохранится в ближайшее время [10].

В Казахстане на протяжении 53 лет выпуск востребованной в аэрокосмическом секторе титановой продукции обеспечивает Усть-Каменогорский титаномагниевый комбинат (АО «УК ТМК») – один из крупнейших вертикально интегрированных мировых производителей титана губчатого марки ТГ-100, с 2010 года – титановых слитков и сплавов, сертифицированных ведущими мировыми компаниями: IMI, Pratt&Whitney, DeutscheTitan, Cezus (сертификаты качества IMI; DeutscheTitan, IMI).

Отгрузка высокосортной продукции комбината производится, в основном, по долгосрочным договорам, конечными потребителями которой являются известные аэрокосмические фирмы: Боинг, Эйрбас, Ролс-Ройс, Пратт энд Уитни, Джeneral Электрик.

Производственные мощности АО «УК ТМК» по выпуску губчатого титана составляют 36 тыс. тонн в год, однако в полной мере они не загружены. До недавнего времени комбинат перерабатывал украинский и канадский титановый шлак. С введением в технологический цикл производства восстановительной руднотермической плавки комбинат с 2002 года приступил к переработке собственного ильменитового концентрата Сатпаевского месторождения совместно с ввозимым из Украины Вольногорским концентратом, качество которого отличается регламентированным содержанием не только основного компонента, но и примесей.

Для наращивания мощностей производства титанового шлака, сокращения себестоимости продукции и увеличения казахстанского содержания комбинат планирует завершить в 2018 году строительство второй обогатительной фабрики на месторождении Сатпаевское.

Решить проблему импортозамещения индивидуальной переработкой ильменитового концентрата Сатпаевского месторождения либо увеличением его массовой доли в шихте

невозможно из-за очень большого содержания триоксида железа (почти 40 мас. %) и диоксида кремния (3,6 мас. %), поскольку в процессе плавки низкосортных концентратов с таким высоким содержанием указанных примесей образуются весьма вязкие и тугоплавкие расплавы, нарушающие и усложняющие технологический процесс, что обуславливает значительные энергетические затраты и ухудшает технико-экономические показатели процесса.

В этой связи для подбора эффективных технических решений переработки некондиционных ильменитовых концентратов отечественных месторождений актуальной задачей является, прежде всего, выявление специфических особенностей их вещественного состава, затрудняющих получение продукции диоксида титана функционального назначения известными методами.

Цель работы – определение технологических критериев, препятствующих вовлечению в переработку нереализуемого ильменитового концентрата месторождения Обуховское.

Экспериментальная часть Фракционный и гранулометрический состав усреднённой методом кольца и конуса партии ильменитового концентрата Обуховского месторождения определялся классификацией исходного материала на виброгрохоте с набором разных по размерам ячеек ситовых полотен. Химический состав концентрата, продуктов фракционной сепарации и сернокислотного разложения определялся рентгенофлуоресцентным анализом с помощью рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра Axios; минералогический состав диагностировался рентгенофазовым анализом на рентгеновском дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение Cu-K_α, и растровой электронно-зондовой микроскопией посредством электронного растрового микроанализатора JEOL JXA-8230 (JEOL). Выход продуктов фракционной сепарации концентрата определялся измерением их массы на аналитических весах PA214C (Ohaus-Pioneer) с погрешностью ±0,0005 г. Механоактивация концентрата осуществлялась дезинтеграцией сrostков минералов на виброистерателе ИВ-1. Технологические свойства активированного концентрата тестировались разложением тонкоизмельченного сухого сырья в термостатированных сосудах путём перемешивания с 96 %-ной серной кислотой и добавлением небольшого количества воды.

Таблица 1 – Химический состав ильменитовых концентратов различных месторождений

Компоненты	Содержание компонентов в различных концентратах, мас. %		
	Вольногорский	Сатпаевский	Обуховский
TiO ₂	64,0	51,0	52,156
FeO	14,6	–	3,020
Fe ₂ O ₃	–	39,7	29,128
Cr ₂ O ₃	1,6	0,2	8,033
SiO ₂	2,1	3,6	3,898
Al ₂ O ₃	2,1	0,6	2,271
MgO	0,63	0,30	0,705
MnO	1,5	2,9	1,535
P ₂ O ₅	0,29	2,9	0,218
ZrO ₂	0,13	0,17	1,072
Nb ₂ O ₅	0,18	0,28	0,192
Y ₂ O ₃	–	–	0,155
S	<0,020	<0,020	0,008

Охлажденный, отстаиванием в течение 3 часов, затвердевший плав выщелачивали перемешиванием горячей водой при температуре 65 °С. Неразложившийся остаток концентрата отделяли декантацией. Продукционный раствор очищали введением железной стружки до появления фиолетовой окраски и кристаллизацией при pH 6-7 гидрата сернокислого восстановленного железа. Упаркой очищенного раствора при температуре 70-75 °С корректировали фактор кислотности до 2 и концентрацию TiO₂ до 200 г/дм³. Гидролизом при pH 1,5, фильтрацией вакуумным водоструйным насосом на воронке Бюхнера с фильтром "синяя лента" и прокалкой при температуре 950 °С метатитановой кислоты получили концентрат диоксида титана. Степень вскрытия концентрата оценивали анализом остаточного количества диоксида титана в неразложившемся остатке.

Массовая доля основного компонента и примесей с учётом выхода продуктов фракционной сепарации концентрата вычислялась по формуле:

$$M = \frac{C_1 * W}{C_2},$$

где M – массовая доля основного компонента и примесей, %; W – выход продуктов фракционной сепарации концентрата, %; C_1 – содержание основного компонента и примесей в продуктах сепарации концентрата, мас. %; C_2 – содержание основного компонента и примесей в концентрате, мас. %.

Обсуждение результатов. Анализом химического состава ильменитового концентрата Обуховского месторождения установлено, что низкое качество сырья определяется не только высоким содержанием оксидов железа и кремния, но оксида хрома, содержание которого в 5 раз больше, чем в Вольногорском, и в 40 раз по сравнению с Сатпаевским концентратом (таблица 1).

Кроме того, Обуховский ильменитовый концентрат, как и Сатпаевский, не соответствует техническим требованиям по содержанию диоксида титана. В ильменитовых концентратах, предназначенных для производства титановой губки, регламентируемое содержание основного компонента должно быть не менее 62 % [11].

Восстановительной электроплавкой шихты с преобладающей, почти в 2 раза, массовой долей (65%) Вольногорского концентрата относительно Сатпаевского на Усть-Каменогорском титаномагниевом комбинате получают титановый шлак высшего качества, с содержанием не менее 86,5 мас. % TiO₂ и не более 4,8 мас. % FeO. Согласно техническим требованиям СТ АО 00202028-120 массовая доля TiO₂ в продукции 1 сорта лимитируется в пределах не менее 84 %, FeO – не более 7 %.

Восстановительная электроплавка ильменитовых концентратов обеспечивает отделение оксидов титана от основной массы железа, остальные примеси практически полностью или на половину от исходного их количества переходят в титановый шлак [12]. При хлорировании титанового шлака, присутствующие в нём оксиды железа, кремния,

хрома, алюминия и других сопутствующих элементов, образуют легколетучие хлориды: FeCl_3 , SiCl_4 , CrO_2Cl_2 , AlCl_3 , загрязняющие возгоны тетрахлорида титана и усложняющие получение марочной титановой губки [13]. Нелетучие высококипящие хлориды натрия, кальция, магния, марганца образуют жидкий расплав, по мере накопления которых изменяются свойства расплава, особенно его вязкость, что ухудшает насыщение его хлором и приводит к значительным потерям целевого металла, поскольку вместе с периодически выпускаемым из хлоратора отработанным расплавом теряется часть шихты титанового шлака.

Использование ильменитового концентрата Сатпаевского месторождения, отличающегося от Вольногорского концентрата гораздо меньшим, в 8 раз, содержанием оксида хрома и в 3,5 раза оксида алюминия, позволяет сократить количество указанных вредных примесей.

Высокая массовая доля оксидов железа и кремния исключает возможность совместной переработки ильменитовых концентратов Обуховского и Сатпаевского месторождений; оксидов хрома и алюминия – переработку Обуховского концентрата в смеси с Вольногорским.

Классификацией усреднённой партии ильменитового концентрата Обуховского месторождения обнаружено, что анализируемый материал наряду с доминирующей массой ильменитовой фракции (88,53 %) с размерами зёрен минералов от $-0,071$ мм до ультратонких

содержит 11,47 % надрешёточной песковой фракции крупностью свыше $+0,071$ мм.

Исследования химического состава продуктов фракционной сепарации концентрата позволили определить, что ильменитовая фракция отличается гораздо большим в 3,5 раза содержанием хрома (8,75 % Cr_2O_3), при этом песковая фракция почти не уступает по содержанию диоксида титана (48,24 % TiO_2) (таблица 2).

Ситовым анализом гранулометрического состава ильменитовой фракции концентрата выявлено, что выход класса с мелкими зёрнами минералов крупностью от $-0,071$ до $+0,063$ мм составляет 4,17 %; тонкими зёрнами класса в пределах $-0,063 \div +0,044$ мм возрастает до 82,57 %; ультратонкими зёрнами класса $-0,044$ и менее понижается до 1,79 % (таблица 3).

Вычислением массовой доли элементов с учётом выхода продуктов фракционной сепарации концентрата установлено, что основное количество титана, железа, хрома и всех примесных элементов сосредоточено в сростках зёрен минералов ильменитовой фракции концентрата крупностью $-0,063+0,044$ мм (таблица 4).

Рентгенофазовой диагностикой продуктов фракционной сепарации концентрата в песковой фракции проявлены рутил, аризонит и псевдобрукит в ассоциации с кварцем и спессартином; в ильменитовой фракции, помимо рутила и аризонита, обнаружено присутствие титаносиликата, железосодержащего алюмохромита, алюмоманганита; в самом концентрате – ильменита, рутила, аризонита и метамиктного циркона (таблица 5).

Таблица 2 – Химический состав продуктов фракционной сепарации ильменитового концентрата Обуховского месторождения

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %		
	концентрат	песковая фракция	ильменитовая фракция
TiO_2	52,156	48,240	52,661
FeO	3,020	2,625	3,153
Fe_2O_3	29,128	25,318	30,410
Cr_2O_3	8,033	2,490	8,750
SiO_2	3,898	21,03	1,678
Al_2O_3	2,271	4,400	1,995
MgO	0,705	0,666	0,710
MnO	1,535	0,955	1,610
P_2O_5	0,218	0,173	0,231
ZrO_2	1,072	0,485	1,148
Nb_2O_5	0,155	0,070	0,166
Y_2O_3	0,192	0,079	0,215
CaO	0,121	0,283	0,100

Таблица 3 – Гранулометрический и химический состав ильменитовой фракции концентрата

Компоненты	Класс крупности					
	–0,071+0,063 мм		–0,063+0,044 мм		–0,044+0 мм	
	содержание, мас. %	выход, %	содержание, мас. %	выход, %	содержание, мас. %	выход, %
TiO ₂	41,168	4,17	59,967	82,57	79,734	1,79
FeO	3,032		3,543		5,655	
Fe ₂ O ₃	19,763		35,161		30,92	
SiO ₂	21,352		0,901		2,438	
Al ₂ O ₃	10,750		1,820		2,452	
Cr ₂ O ₃	3,882		9,880		24,051	
ZrO ₂	0,708		1,277		3,579	
MnO	1,047		1,856		1,889	
MgO	0,613		0,810		0,873	
P ₂ O ₅	0,133		0,263		0,463	
Nb ₂ O ₅	0,140		0,186		0,367	
Y ₂ O ₃	0,156		0,247		0,253	
CaO	0,070		0,114		0,165	

Таблица 4 – Распределение массовой доли основного компонента и примесей в гранулометрическом составе ильменитовой фракции концентрата

Компоненты	Тонина помола, мм				Итого, %
	–0,071+0	–0,071+0,063	–0,063+0,044	–0,044+0	
	содержание, %	массовая доля, %	массовая доля, %	массовая доля, %	
TiO ₂	52,661	3,26	94,03	2,71	100
FeO	3,153	4,01	92,78	3,21	100
Fe ₂ O ₃	30,410	2,71	95,47	1,82	100
SiO ₂	1,678	53,06	44,34	2,60	100
Al ₂ O ₃	1,995	22,47	75,33	2,20	100
Cr ₂ O ₃	8,750	1,85	93,23	4,92	100
ZrO ₂	1,148	2,57	91,85	5,58	100
MnO	1,610	2,71	95,19	2,10	100
MgO	0,710	3,60	94,20	2,20	100
P ₂ O ₅	0,231	2,40	94,01	3,59	100
Nb ₂ O ₅	0,166	3,52	92,52	3,96	100
Y ₂ O ₃	0,215	3,03	94,86	2,11	100
CaO	0,100	2,92	94,13	2,95	100

Таблица 5 – Минералогический состав продуктов фракционной сепарации ильменитового концентрата

Выход, %	Компоненты	Формула	Массовая доля, %
Песковая фракция			
11,47	Quartz, syn	SiO ₂	40,8
	Rutil, syn	TiO ₂	16,9
	Pseudorutil (arizonit)	Fe ₂ (TiO ₃) ₃	16,9
	Pseudobrukite	Fe ₂ (TiO ₅)	11,3
	Spessartine	Mn ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	14,2
Ильменитовая фракция			
88,53	Rutil, syn	TiO ₂	27,1
	Pseudorutil (arizonit)	Fe ₂ (TiO ₃) ₃	23,5
	Titanium Silicon	TiSi ₂	15,9
	AluminianChomit	Fe(Cr,Al) ₂ O ₄	16,6
	Aluminian Manganese	MnAl ₆	17,0
Ильменитовый концентрат			
100	Ilmenit	FeTiO ₃	20,0
	Rutil	TiO ₂	20,8
	Pseudorutil(arizonit)	Fe ₂ (TiO ₃) ₃	25,9
	Zircon, metamict	ZrSiO ₄	23,0
	Quartz, syn	SiO ₂	10,3

Следует пояснить, что псевдобрукит (синоним – лейкоксен) является аллотропической модификацией изменённого ильменита, близкого по составу к диоксиду титана; алюмохромит – разновидность обогащенного алюминием хромита; метамиктный циркон – минерал с сохранившейся внешней кристаллографической формой и внутренней разупорядоченной или распавшейся структурой в результате поглощения излучений под воздействием радиоактивного распада входящих в его состав урана и тория [14].

Кварц, судя по дифракционному максимуму интенсивной линии рентгенограммы, представляет алюмосиликатную основу песковой фракции с тесно ассоциированными зёрнами рутила, арizonита и псевдобрукита, суммарная массовая доля которых составляет 45 %. Преобладающей фазой ильменитового концентрата являются полиморфные разновидности минералов титана: рутил, арizonит, титаносиликат, содержание которых в общей сложности достигает 66,5 % (рисунки 1, 2).

Более информативные сведения о вещественном составе песковой и ильменитовой фракций концентрата получены растровой электронно-зондовой микроскопией, позволившей определить наличие в них большого количества агрегатных сростков минеральных индивидов, прожилковых ассоциатов, вкраплений крупных и чрезвычайно тонких зёрен выявленных и проявленных других минералов (рисунок 3).

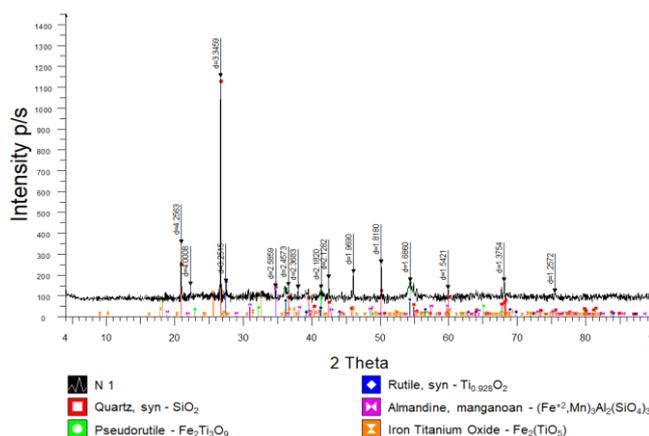


Рисунок 1 – Рентгенограмма образца песковой фракции концентрата

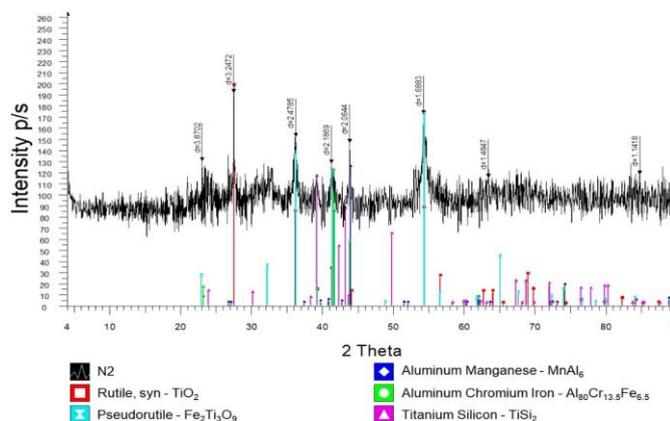
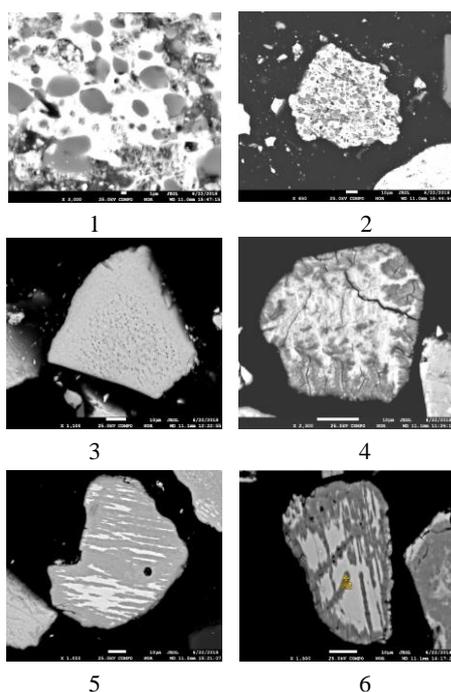


Рисунок 2 – Рентгенограмма образца ильменитовой фракции концентрата

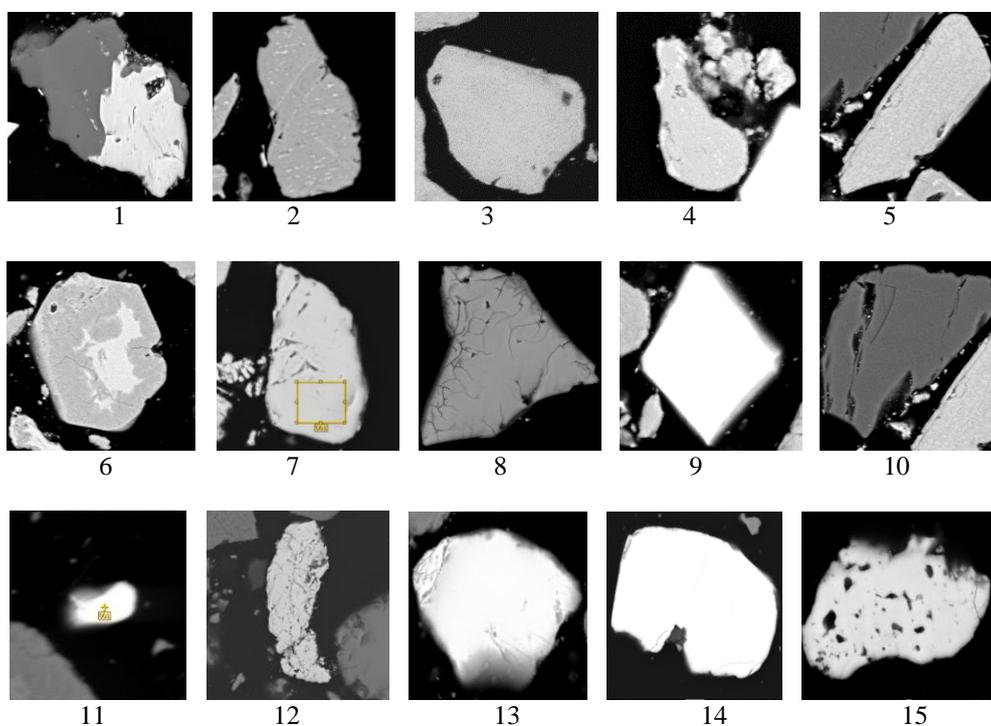


Алюмосиликатный сросток зёрен минеральных индивидов (1); вкрапления крупных (2), тонких (3) и прожилковых (4–6) зёрен минералов титана

Рисунок 3 – Минеральные ассоциаты песковой и ильменитовой фракций концентрата

Измельчением навесок ильменитового концентрата на виброистирателе ИВ-1, подобраны оптимальные условия дезинтеграции зёрен минералов, обеспечивающие в процессе кратковременной в течение 10-15 минут механоактивации увеличение в гранулометрическом составе концентрата до 90-95 % класса $-0,063+0,044$ мм в результате быстрого разрушения крупных сростков минералов, что подтверждено растровой электронно-зондовой микроскопией, посредством которой проявлено множество высвобожденных зёрен минералов с разнообразной конфигурацией, деформированной и разрушенной внешней кристаллографической формой, треснувшей со сколами пористой текстурой (рисунок 4).

Поисковыми исследованиями возможности получения пигментного диоксида титана сернокислотным разложением активированных образцов концентрата нами установлено, что основная масса, до 98 %, триоксида хрома и почти все количество кремния и фосфора остаётся в неразложившемся остатке.



Сросток рутила с кварцем (1); обособленные зёрна псевдорутилов (2-4); ильменита (5, 6.); хромита (7); алюмохромита (8); циркона (9); спессартина (10), редкоземельных элементов цериевой (11-14) и иттриевой (15) группы

Рисунок 4 – Зёрна минеральных индивидов активированного ильменитового концентрата

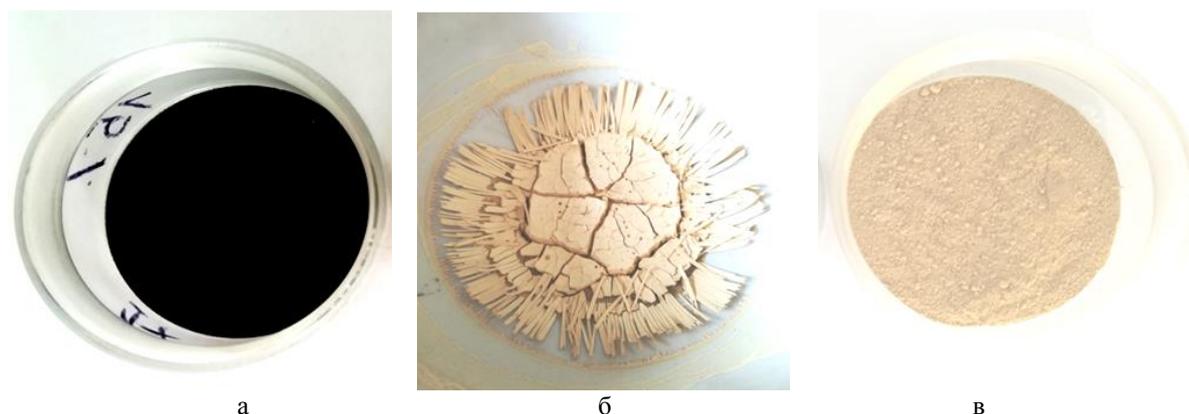


Рисунок 5 – Образцы ильменитового концентрата Обуховского месторождения (а), осадка метатитановой кислоты (б), концентрата диоксида титана (в)

В концентрат диоксида титана чистотой 97 %, полученного гидролизом из очищенного от железа фильтрата и прокалкой при температуре 950 °С в течение 1 часа метатитановой кислоты, переходит незначительное количество примесей, следовое содержание которых, особенно хрома, придает нежелательную окраску белому пигменту [15], всегда удаляемой в промышленности дополнительной очисткой (рисунок 5).

Однако, несмотря на тонину помола низкая, всего 47-50 %, степень разложения активированного концентрата из-за значительной лейкоксенизации ильменита обуславливает не пригодность затратного метода сернокислотного вскрытия, что было отмечено в трудах Витюгина В. М. и Фукса О. А. (1964 г.), а также Бельного Е. Ф. и Рискина И. В. (1960 г.). Общеизвестно, что чем больше ильменитовые концентраты лейкоксенированы, тем сложнее они разлагаются серной кислотой, что предопределяет не только большие материальные, но и энергетические затраты [16].

Выводы. Таким образом, определены технологические критерии, препятствующие реализации ильменитового концентрата Обуховского месторождения. Ключевым ориентиром неприемлемости традиционного метода восстановительной электроплавки является низкое качество концентрата, заключающееся в несоответствии регламентируемым требованиям массовой доли основного компонента и примесей; сернокислотного метода разложения – степень лейкоксенизации ильменита.

Изысканиями рациональных путей вовлечения в переработку некондиционного

сырья отечественных месторождений, обеспечивающих получение обогащенной диоксидом титана продукции независимо от их химического и минералогического состава, получены обнадеживающие результаты решения проблемы импортозамещения, которые будут освещены в следующих публикациях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант AP05130348/ГФ).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Саубанов М. Н. Титан – материал XXI века // Литейщик России. – 2011. – № 11. – С. 14-18.
- 2 Kotsar M.L., Lavrikov S.A., Nikonov V.I., Aleksandrov A.V., Akhtonov S.G. High-purity titanium, zirconium, and hafnium in nuclear power// Atomic Energy. – 2011. – V. 111, Iss. 2. – P. 92-98. <https://doi.org/10.1007/s10512-011-9459-4>.
- 3 Тюшкевич А. О., Кузьмина М. Ю. Применение титана и его сплавов в пищевой промышленности и машиностроении // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов: Матер. VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Россия, Иркутск, 2018 г. – С. 73-75.
- 4 Орыщенко А. С., Горынин И. В., Леонов В. П., Счастливая И. А. Титановые сплавы для корпусов атомных реакторов малой и средней мощности // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 2. – С. 199-210.
- 5 Лебедев В. А. Металлургия титана: учеб. пособие / В. А. Лебедев, Д. А. Рогожников. – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015. – 194 с.
- 6 Singh P., Pungotra H., Kalsi N. S. On the characteristics of titanium alloys for the aircraft applications // Materials Today: Proceedings. – 2017. – V. 4. Iss. 8. – P. 8971-8982. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.249>.

- 7 [Электрон.ресурс] – URL: <http://metalinfo.ru/ru/news/100928> (дата обращения 17.05.2018).
- 8 Леонтьев Л. И., Дмитриев А. Н. О проблеме обеспечения сырьём производства пигментного титана // Комплексное использование минерального сырья. – 2015. – № 1. – С. 37-45.
- 9 Мировой рынок титана и продукции (проката). Аналитический обзор: MetalResearch, 2017. – 112 с.
- 10 [Электрон. ресурс] – URL: <http://www.indexbox.ru/news/s-chem-svjazan-rost-sprosa-na-krasiteli-i-pokrytija-v-ssha> (дата обращения 17.05.2018).
- 11 Байбеков М.К., Попов В.Д., Чеprasов И.М. Производство четырёххлористого титана. – М.: Metallurgia, 1980. – 119 с.
- 12 Алыбаев Ж. А., Баимбетов Б. С., Бошкаева Л.Т., Омirezakov Б. А. Термодинамический анализ процессов при плавке ильменитовых концентратов на титановый шлак // Комплексное использование минерального сырья. – 2014. – № 2. – С. 32-37.
- 13 Худайбергенов Т.Е. Титаномагниеvoe производство. Технология переработки промпродуктов и отходов. – Алматы: ИПФ S&K, 1996. – 177 с.
- 14 Липова И.М. Природа метамиктных цирконов. – М.: Атомиздат, 1972. – 160 с.
- 15 Ahmad S., Rhamdhani M. A., Pownceby M. I., Bruckard W. J. Selective sulfidising roasting for the removal of chrome spinel impurities from weathered ilmenite ore // International Journal of Mineral Processing. – 2016. – V. 146. – P. 29-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.minpro.2015.11.012>.
- 16 Baba A. A., Swaroopa S., Ghosh M. K., Adekola F. A. Mineralogical characterization and leaching behavior of Nigerian ilmenite ore // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2013. – V. 23. – P. 2743-2750. [10.1016/S1003-6326\(13\)62792-2](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62792-2).
- the development of technology for processing hydrocarbon and mineral resources: mater. VIII All-Russian scientific-practical conference with international participation). Irkutsk, Russia, **2018**. 73-75. (in Russ.).
- 4 Oryshchenko A. S., Gorynin I. V., Leonov V. P., Schastlivaya I. A. Titanovye splavy dlya korpusov atomnykh reaktorov maloy i sredney moshchnosti (Titanium alloys for low and mean power nuclear reactors)// *Voprosy materialovedeniya = Materials science questions*. **2014**. 2, 199-210. (in Russ.).
- 5 Lebedev V. A. *Metallurgiya titana: ucheb. posobiye* (Titanium metallurgy). Ekaterinburg: Izdatelstvo UMTsUPI. **2015**, 194. (in Russ.).
- 6 Singh P., Pungotra H., Kalsi N. S. On the characteristics of titanium alloys for the aircraft applications. *Materials Today: Proceedings*. **2017**. 4. 8. 8971-8982. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.249>. (in Eng.)
- 7 [Electron resource]. URL: <http://metalinfo.ru/ru/news/100928>.
- 8 Leontyev L. I., Dmitriyev A. N. *O problem obespecheniya syr'yem proizvodstva pigmentnogo titana* (About a problem of maintenance with a raw material of a pigment titanium manufacture). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. **2015**. 1. 37-45. (in Russ.).
- 9 *Mirovoy ryno ktitana i produktii (prokata). Analiticheskiy obzor: MetalResearch* (World market of titanium and products (rolled products). Analytical review: MetalResearch). **2017**. 112. (in Russ.).
- 10 [Electron resource]. URL: <http://www.indexbox.ru/news/s-chem-svjazan-rost-sprosa-na-krasiteli-i-pokrytija-v-ssha>.
- 11 Bajbekov M. K., Popov V. D., Cheprasov I. M. *Proizvodstvo chetyrekhkhlorigostogo titana* (Production of titanium tetrachloride) Moscow: Metallurgy. **1980**, 119. (in Russ.).
- 12 Alybaev Zh. A., Baimbetov B. S., Boshkaeva L. T., Omirezakov B. A. *Termodinamicheskij analiz protsessov pri plavke ilmenitovykh kontsentratorov na titanovyj shlak* (Thermodynamic analysis of processes during melting of ilmenite concentrates on titanium slag) *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. **2014**. 2. 32-37. (in Russ.).
- 13 Khudajbergenov T. E. *Titanomagnievoe proizvodstvo. Tekhnologiya pererabotki promproduktov i otkhodov* (Titanium-magnesium production. Technology of processing of industrial products and wastes). Almaty: IPF S&K. **1996**. 177. (in Russ.).
- 14 Lipova I. M. *Priroda metamiktnykh tsirkonov* (Nature of metamictural zircons). Moscow: Atomizdat. **1972**. 160. (in Russ.).
- 15 Ahmad S., Rhamdhani M. A., Pownceby M. I., Bruckard W. J. Selective sulfidising roasting for the removal of chrome spinel impurities from weathered ilmenite ore. *International Journal of Mineral Processing*. **2016**. 146. 29-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.minpro.2015.11.012>. (in Eng.)

REFERENCES

16 Baba A. A., Swaroopa S., Ghosh M. K., Adekola F. A. Mineralogical characterization and leaching behavior of Nigerian ilmenite ore. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. **2013**. 23. 2743-2750. 10.1016/S1003-6326(13)62792-2. (in Eng.)

Ф. Х. ТУЛЕУТАЙ¹, *С. А. ТРЕБУХОВ^{1,2}, К. Ш. АХМЕТОВА^{1,2}, А. В. НИЦЕНКО^{1,2}, Н. М. БУРАБАЕВА^{1,2}

¹Металлургия және кен байыту институты, Алматы, Қазақстан, * e-mail: vohubert@mail.ru

²Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті Қ.И.Сәтбаев атындағы, Алматы, Қазақстан

ТӨМЕН САПАЛЫ ИЛЬМЕНИТ КОНЦЕНТРАТТАРЫНЫҢ ҚАЙТА ӨНДЕУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Түйіндеме. Обухов кен орнының 4,5 мың тоннадай жиналған ильменит концентратының өндеуге кері әсерін тигізетін фракциялық, гранулометриялық, минералогиялық, химиялық және элементтік құрамдардың сертификатталған фракциялық, түйіршік өлшеулік, минералогиялық және химиялық талдаулар жиынтығының ең маңызды технологиялық критерийлері анықталды. Хром үшқосидінің (8 % -дан астам), темір үшқосиді (29 % -дан артық), кремний диоксидінің (3,9 %), титан диоксидінің үлес салмағы бойынша реттелетін талаптарға сәйкес келмеуі (шамамен 52 %) болғандықтан, концентратты қайта бөлудің сапасының төмендігінен, титан қождарын өндіру үшін пайдаланылатын электрлендірудің дәстүрлі әдісімен жүзеге асыру мүмкін емес екендігі анықталған. Қышқылда көп мөлшерде ерімейтін рутилдің, құмды 17 % және шамамен 27 % -ға дейін ильменит фракциясының болуы, лейкоксенденген жоғары хром концентратын пигментті титан диоксидін алу үшін пайдаланылатын күкірт қышқылын ыдырау әдісімен өндеуге тарту мүмкіндігін жоққа шығарады. Сонымен қатар титанның, темірдің, хромның және басқа да ілеспе элементтердің біріккен концентрациясын анықтайтын, рутил мен псевдоморфты лейкоксендендірілген ильменит (аризонит, псевдобуркит) металл емес минералдармен тығыз байланыста болады және біршама аз минерал дәндері $-0,063+0,044$ мм өлшеміндегі өсіп келе жатқан жалпы көлемі (салмағы бойынша 44,35 %) кремнийдің болуы концентратты қайта өндеудегі қиындық туғызады. Минералды шикізатты ірі кластерлерді тез жою нәтижесінде қысқа мерзімді, 10-15 минут ішінде, механикалық белсендіру кезінде, концентраттың гранулометриялық құрамының 90-95% $-0,063+0,044$ мм-ге дейін ұлғаюын қамтамасыз ететін дәндері ығыстырудың оңтайлы шарттары таңдалды. Издестіру зерттеулерінде ильмениттің айтарлықтай лейкоксенизациясы тегістігіне қарамастан, белсендірілген концентраттың күкірт қышқылында ыдырау әдісі тек 47-50 % -ға дейін екендігін көрсетеді.

Түйін сөздер: ильменитті концентрат, лейкоксен, титан диоксиді, электрлік балқыту арқылы қайта құру, күкіртқышқылды ыдырау.

F. H. TULETUTAY¹, *S. A. TREBUKHOV^{1,2}, K. Sh. AHMETOVA^{1,2}, A.V. NICENKO^{1,2}, N. M. BURABAYEV^{1,2}

¹Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan, * e-mail: vohubert@mail.ru

²Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

A DIFFICULTY TO PROCESS A LOW QUALITY TITANO-FERRITE CONCENTRATES

Abstract. The essential technological criteria interfering with the implementation of titano-ferrite concentrate accumulated in the amount of 4.5 thousand tones at the Obukhov deposit were determined by means of certified methods of chemical, fractional, granulometric and mineralogical composition analysis. A poor quality and unacceptable processing of the concentrate by applying the standard method of restoring electric smelting used to produce titanium slag is established to be stipulated by a high chromium trioxide (more than 8 wt.%) content, iron trioxide (over 29 wt.%); silicon dioxide (3.9 wt.%) and inconsistency with the regulated requirements for the mass fraction of titanium dioxide (about 52%). The great number of rutile insoluble in acids to 17 wt.% within the sand fraction and about 27 wt.% within the titano-ferrite fraction eliminates opportunity to involve leucoxenized high chromium concentrate into the processing by means of sulfuric dissolution method used to obtain pigmental titanium dioxide. Besides, an obstacle to process the concentrate is connected with the extreme dissemination and close assemblage of rutile and pseudomorphic varieties of leucoxenized titano-ferrite (arizonite, pseudo-brookite) with metal and nonmetal minerals that predetermine joint concentration of the bulk of titanium, iron, chromium, other accompanying elements and just a little smaller half of the total amount of silicon (44.35 wt.%) in aggregate of mineral flakes with a size of $-0.063+0.044$ mm. The most preferable conditions of mineral flakes disintegration were selected to ensure an increase in the granulometric composition of the concentrate to 90-95 % of $-0.063+0.044$ mm class in the process of short-term, for 10-15 minutes, mechanical activation, caused by the rapid destruction of large aggregates of mineral individuals. An exploratory research has shown that, despite the fineness of grinding, the significant leucoxenization of titano-ferrite causes a low, only 47-50 %, degree of dissection of the activated concentrate by the sulfuric acid dissolution method.

Key words: titano-ferrite concentrate, leucoxene, titanium dioxide, restoring electric smelting, sulfuric acid dissolution.

Поступила 20.08.2018