



Рис. 1. Исходное сырье

водилась при температуре 200 °С. Следующей стадией являлось выщелачивание гидроксидом натрия (ГОСТ Р 55064-2012). После фильтрации твердая фаза была просушена при температуре 200 °С.

Осуществлялось перемешивание сырья с использованием механической мешалки с электроприводом с добавлением серной кислоты (ГОСТ 2184-2013).

Полученный после сульфатизации хромосодержащий раствор подвергался переработке. С использованием аммиачной воды (ГОСТ

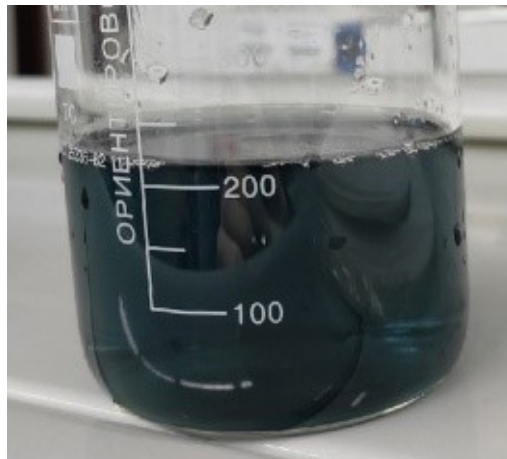


Рис. 2. Раствор после сульфатизации

24147-80) было проведено дробное осаждение. Затем смешивали с содой (ГОСТ 5100-85) до полного осаждения с целью получения карбоната магния. Реакционную массу фильтровали, осадок сушили при температуре 180 °С.

Полученный целевой продукт был отправлен на проведение анализа: по данным РФА был получен MgO с чистотой 95,1 %.

Следующим этапом исследования является получение высокочистого (>99,0 %) оксида магния.

Список литературы

1. Стрелец Х.Л. *Металлургия магния*. / Под ред. Х.Л. Стрелец, А.Ю. Тайц, Б.С. Гуляницкий. М.: Гос. научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1950.– 494 с.
2. Воскобойников В.Г. *Общая металлургия: учебник для вузов*. / Под ред. В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. 6 – изд., перераб. и доп.– М.: Академкнига, 2005.– 768 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФТОРИРОВАНИЯ ИЛЬМЕНИТОВЫХ ШЛАКОВ

Н.В. Карелина, Шон Хай Ле, В.А. Карелин
 Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Карелин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, nvkarelina@yandex.ru

Обычно ильменитовые концентраты перерабатывают растворением их в серной кислоте или хлорированием элементарным хлором в солевом расплаве щелочных металлов. Оба процесса оказывают очень вредное воздействие на экологическую обстановку как вокруг производств, так и на флору и фауну окружающих рек и морей поскольку в сернокислотном процессе в качестве отхода образуются громадные количества

сульфата кальция (гипса). При использовании хлоридного процесса образуется значительно меньшее количество отходов, однако их опасность настолько велика, что требуется создание специальных систем их очистки от хлорсодержащих компонентов. Степень перехода титана в его тетрахлорид составляет примерно 89 % мас. В 2019 г. объем выпускаемого диоксида титана в виде пигмента приблизился к 3000 тонн.

Таблица 1. Состав ильменитовых шлаков после восстановительной плавки ильменитовых концентратов

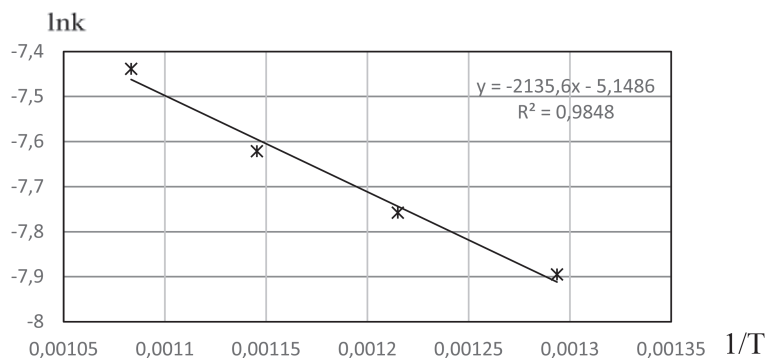
Состав ильменитовых шлаков, %									
TiO ₂	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	CaO	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Другие
82–82,5	2,7–2,9	2,8–2,9	2,0–2,2	2,0–2,1	1,0–1,1	0,3–0,4	0,2–0,3	0,15	6,85–5,45

При этом происходит образование примерно 1,5 тысяч тонн в год или примерно 5 000 тонн в сутки токсичных хлорсодержащих отходов [1, 2]. Таким образом для устранения воздействия вредных веществ на окружающую среду при переработке титаносодержащего сырья необходим принципиально новый способ, позволяющий устранить основные недостатки используемых в настоящее время процессов.

В составе ильменитовых концентратов в значительной степени представлена закись железа (~45%), которую удаляют осуществляя процесс восстановления углеродом или углеродсодержащими компонентами. В результате образуется продукт с повышенным содержанием титанового диоксида. Содержание примесей в ильменитовых шлаках показано в таблице.

Предлагаемый процесс синтеза титанового порошка высокой степени чистоты [3] основан на обработке ильменитовых концентратов элементарным фтором, десублимации полученного TiF₄ из газовой фазы и разложении тетрафторида титана в расплаве фторидных солей под действием электрического тока.

Один из основных процессов предлагаемой технологии – фторирование ильменитовых шла-

**Рис. 1.** Зависимость изменения предэкспоненциального множителя $\ln k$ от обратной температуры $1/T$

ков. Для изучения особенностей фторирования ильменитовых шлаков выполнены кинетические исследования этого процесса. С использованием нескольких кинетических уравнений определены значения энергии активации и предэкспоненциального множителя (см. рис. 1).

Показано, что полученная зависимость наиболее точно описывается уравнением сокращающегося цилиндра:

$$1 - (1 - \alpha)^{1/2} - 0,0047 \cdot e^{\frac{261,81}{RT}} \cdot \tau$$

Таким образом скорость процесса фторирования определяется диффузионными факторами, т.е. скоростью подвода газообразного фтора к частицам ильменитового шлака.

Список литературы

1. Lane D.A. Pollution caused by waste from the titanium dioxide industry: Directive 89/428 // *Boston College International and Comparative Law Review*, 1991. – V.14. – Iss.2. – Symposium on European Community. Article 16. *Environmental Law*. URL: lawdigitalcommons.bc.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1500&context=iclr.
2. Vondruska M., Bednarik V., Sild M. Stabilization/solidification of waste ferrous sulphate from titanium dioxide production by fluidized bed combustion product. // *Waste Management*, 2001. – V.21. – №1. – P.6–11.
3. Karelin V.A. et al. Research of fluorination process of rutile concentrate // *Procedia Chemistry*, 2014. – V.11. – P.49–55.