

[BO₄]. При этом закономерно уменьшается доля групп [BO₃], что обусловлено снижением интенсивности максимума поглощения при 1400 см⁻¹. Доля связей Si–O вместе с ростом количества оксидомодификатора повышается, что проявляется также в виде смещения максимума полосы поглощения от 1080 до 1040 см⁻¹.

При замене SiO₂ на B₂O₃ наблюдается усиление интенсивности полос при 1400 см⁻¹, а также в области 670–700 см⁻¹, что вызвано ростом доли групп [BO₃]. Кроме того, наблюдается усиление интенсивности полосы при 923 см⁻¹, обусловленное увеличением доли группировок [SiO₄] островного типа в связи со снижением степени полимеризации структурного каркаса стекол.

В результате выполненных исследований определена область составов стекол для светоотражающей оболочки жесткого оптического волокна на основе системы K₂O–B₂O₃–SiO₂, характеризующаяся комплексом технологических, оптических и физико-химических характеристик, максимально согласующихся со стеклом световедущей жилы.

Работа выполнена при финансировании в рамках НИР ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия».

Список использованных источников

1. Дяденко М. В. Стекла для получения волоконно-оптических элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11 / М.В. Дяденко; УО Бел. гос. технол. ун-т. – Минск, 2012. – 23 с

УДК 546.723

Л.С. Ещенко, Р.А. Воронцов

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ВЫДЕЛЕНИЕ СУЛЬФАТА КАЛИЯ ИЗ ПРОДУКТОВ ТЕРМОЩЕЛОЧНОЙ КОНВЕРСИИ ЖЕЛЕЗНОГО КУПОРОСА

Аннотация. Исследован процесс выделения сульфата калия из продукта, образующегося при термощелочной конверсии железного купороса в системе FeSO₄ – H₂SO₄ – KOH – O₂ – H₂O, имеющих состав, мас. %: соединения железа – 27,0–30,0, K₂SO₄ – 50–55, H₂O – 15–17. Разработан процесс противоточной двухступенчатой отмывки, до остаточного содержания K₂SO₄ в твердой фазе на

уровне 0,1 – 0,7 мас. %.

L. S. Eshchenko, R. A. Vorontsov
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

SEPARATION OF POTASSIUM SULPHATE FROM PRODUCTS OF THERMO-ALKALINE CONVERSION OF IRON SULPHATE

***Abstract.** The process of isolation of potassium sulfate from the product formed during the thermo-alkaline conversion of ferrous sulfate in the $\text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{KOH} - \text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$ system, having the composition, wt. %: iron compounds – 27,0–30,0, K_2SO_4 – 50–55, H_2O – 15–17. A process of counter-current two-stage washing has been developed, up to a residual content of K_2SO_4 in the solid phase at the level of 0,1 – 0,7 wt. %.*

Существующим методам производства железоксидных пигментов характерно образование большого количества сточных вод, которые могут содержать в себе технически ценные компоненты, в частности, сульфатсодержащие соли [1, 2]. Так, при термощелочной конверсии железного купороса в присутствии КОН образуется сульфат калия, который может быть использован как минеральное удобрение. Выделение сульфата калия в качестве кристаллического соединения или концентрированного водного раствора, позволяет повысить коэффициент использования железного купороса и решить актуальную в настоящее время проблему комплексного использования сырья. Ранее [3] был изучен процесс щелочной конверсии железного купороса в системе $\text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{KOH} - \text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$ и показано, что образующиеся при этом продукты содержат до 50 – 55 мас. % K_2SO_4 . Исходя из этого, целью данной работы явилась разработка процесса отмывки сульфата калия из продуктов конверсии железного купороса, образующихся в системе $\text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{KOH} - \text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$.

В качестве исходного сырья использовали железный купорос состава (мас. %): FeSO_4 – 52,0, H_2O – 46,97, H_2SO_4 свободная – 0,98, н. о. – 0,05; 40%-ный раствор гидроксида калия. Мольное соотношение между реагентами составляло $2\text{OH}^- : \text{Fe}^{2+} = 1,0$.

Схема переработки железного купороса на K_2SO_4 и железосодержащие соединения представлена на рис. 1.

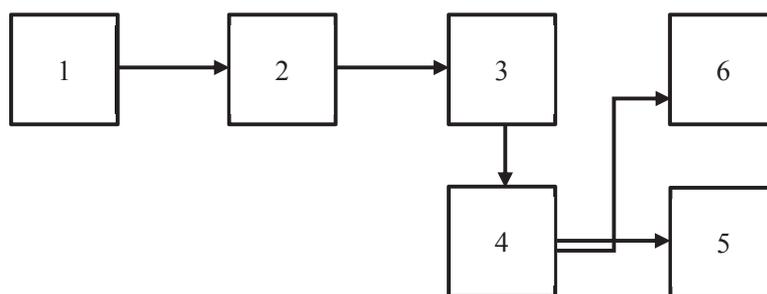


Рис. 1 – Схема термощелочной конверсии железного купороса

1 – смешение реагентов; 2 – микроволновая обработка; 3 – гидротермальная обработка; 4 – промывка железосодержащей фазы; 5 – кристаллизация K_2SO_4 ; 6 – сушка и термообработка железосодержащей фазы

Промывку промежуточного продукта состава (мас. %) $FeOOH$ – 27,16, K_2SO_4 – 54,98, H_2O – 17,32 осуществляли последовательным добавлением порции H_2O после каждой ступени предыдущей отмывки. Температура промывной воды составляла $70 - 80^{\circ}C$ для увеличения растворимости K_2SO_4 , содержащегося в отмываемом продукте. Отношение массы H_2O к массе твердой фазы (Ж:Т) изменяли от 2 до 4. Промывные воды и промытую твердую фазу анализировали на содержание K_2SO_4 . Степень отмывки рассчитывали как отношение массы K_2SO_4 , перешедшего в раствор, к его исходной массе.

На основании анализа экспериментальных данных было установлено, что состав образующихся в процессе термощелочной конверсии железного купороса в присутствии KOH продуктов зависит от ряда факторов, влияющих как на степень конверсии $FeSO_4$, так и на окисление соединений Fe^{2+} . Показано влияние степени окисления соединений Fe^{2+} на состав промывных вод, получаемых с целью выделения K_2SO_4 . При степени окисления Fe^{2+} менее 80,0% в промывных водах присутствуют растворимые соли железа, которые кристаллизуются совместно с K_2SO_4 . При степени окисления соединений Fe^{2+} 95,0% и выше, достигаемой введением в продукты конверсии $FeSO_4$ окислителей и нагреванием до $70 - 80^{\circ}C$, промывная вода представляет собой раствор сульфата калия, концентрация которого находится на уровне 16,0 – 20,0%, что приближается к насыщенному раствору при температуре $80^{\circ}C$.

Согласно экспериментальным данным, содержание сульфата калия в промывных водах и твердой фазе существенно зависит от соотношения Ж:Т. При четырехкратной промывке достигается высокая степень перехода K_2SO_4 из твердой фазы в жидкую, особенно при увеличении соотношения Ж:Т до 4,0. При таком соотношении уже после третьей ступени промывки достигается степень отмывки порядка

97,0%. Однако, в данном случае объем промывных вод возрастает до 1200 г H₂O/100 г продукта и снижается содержание в них K₂SO₄. На первой ступени промывки образуется наиболее концентрированная промывная вода (до 18 – 20 мас. % K₂SO₄) при соотношении Ж:Т=2:1 и 10,0 – 12,0 мас.% при Ж:Т = 4:1. На последующих ступенях промывки содержание K₂SO₄ в промывных водах уменьшается, степень отмывки остается на уровне 65 – 70%. Содержание K₂SO₄ в отмытом продукте составляет 0,1 – 0,7% в зависимости от соотношения Ж:Т.

При соотношении Ж:Т = 2,0 на первой ступени промывки твердой фазы водой, имеющей температуру 70 – 80⁰С, промывная вода имеет концентрацию, близкую к пересыщенному раствору по K₂SO₄. Увеличение соотношения Ж:Т, с одной стороны, увеличивает степень отмывки, а с другой – снижает содержание K₂SO₄, что требует значительных затрат на их концентрирование с целью повышения содержания K₂SO₄. Поэтому, исходя из известных данных [4], процессы отмывки сульфата калия целесообразно осуществлять с использованием противотока веществ. В этом случае достигается наибольшая разность концентраций вещества, находящегося одновременно в двух контактирующих фазах.

Поскольку степень извлечения K₂SO₄ и, следовательно, его содержание в контактирующих жидкой и твердой фазах зависит от числа ступеней, то произведен их расчет, основанный на материальном балансе каскада промывных аппаратов. Для определения содержания K₂SO₄ в отмытом продукте, промывных водах, степени отмывки в каскаде аппаратов использовали следующие экспериментальные данные: содержание K₂SO₄ в отмываемом продукте – 55,0 мас. %, число ступеней в каскаде – n , соотношение Ж:Т = 2 – 4. Для расчета содержания K₂SO₄ в отмытом продукте (S_n), в промывной воде на выходе из каскада (P_1) использовали зависимости [4]. Результаты расчета процесса противоточной отмывки представлены в таблице 1.

Представленные в таблице 1 результаты показывают, что степень отмывки продукта от сульфата калия определяется как соотношением жидкой и твердой фаз, так и числом ступеней в противоточном каскаде. Достижение максимальной степени извлечения K₂SO₄ из продуктов конверсии возможно как увеличением соотношения Ж:Т, так и числом промывных аппаратов.

Таблица 1–Влияние соотношения Ж:Т (x), числа ступеней отмывки (n) на показатели процесса извлечения K_2SO_4 из железосульфатсодержащих продуктов

Число ступеней n	x , H ₂ O кг / Твердая фаза кг	Масса H ₂ O, г/кг продукта	S_n , г K ₂ SO ₄ /кг продукта	P_1 , г K ₂ SO ₄ /кг промывной воды	Степень отмывки $\alpha = 1 - \frac{S_n}{S_0}$
2	2	1100	78,50	235,71	0,860
	3	1650	42,30	169,20	0,920
	4	2200	26,19	130,95	0,950
	5	2750	17,74	106,45	0,970
3	2	1100	36,60	256,60	0,934
	3	1650	13,75	178,70	0,975
	4	2200	6,47	135,80	0,982
	5	2750	3,52	109,30	0,993

Анализируя данные по содержанию K_2SO_4 в твердой фазе после ее отмывки можно заключить, что даже при степени отмывки 0,993, массовая доля K_2SO_4 составляет 0,35%; при четырехкратной отмывке при тех же условиях – 0,07%. Концентрация K_2SO_4 в промывной воде, как следует из результатов расчета, представленных в таблице 1, определяется соотношением Ж:Т и в меньшей степени, числом ступеней в каскаде.

Исходя из растворимости сульфата калия при промывке продукта при соотношении Ж:Т менее 5,0 промывные воды являются пересыщенными, независимо от числа ступеней в каскаде. При соотношении Ж:Т = 5, промывной раствор является насыщенным, поскольку растворимость K_2SO_4 при 20⁰С составляет 11,11 г/100 г H₂O. При пятикратном избытке воды по отношению к отмываемой твердой фазе, содержание K_2SO_4 находится на уровне 106-109 г/кг промывной воды, т.е. приближается к растворимости сульфата калия при 20⁰С. В этом случае выделение K_2SO_4 из раствора возможно за счет уменьшения растворителя путем выпарки и последующей кристаллизации соли.

Другим вариантом выделения K_2SO_4 из промывной воды может быть политермическая кристаллизация из пересыщенного раствора, полученного при промывке продукта в интервале 80 – 90⁰С. Растворимость сульфата калия при 80 – 90⁰С составляет 21,4 – 22,4 г/100г H₂O. Расчеты, представленные в таблице 1, показывают, что содержание K_2SO_4 , превышающее указанную растворимость, характерно для промывной воды, полученной в

двухступенчатом каскаде при соотношении Ж:Т = 2.

Таким образом, исходя из представленных данных, противоточная промывка железосодержащей фазы в двухступенчатом каскаде при Ж:Т равном 2 и 5 на первой и второй ступенях, соответственно, позволяет получить насыщенный раствор сульфата калия, и выделить кристаллический K_2SO_4 путем политермической кристаллизации.

Список использованных источников

1. Попов, В. В. Закономерности образования нанокристаллических окидов и оксигидроксидов железа (III) при окислении соединений железа (II) в щелочной среде / В. В. Попов, А. И. Горбунов // Журнал неорганической химии. – 2010. – Т. 55. – № 10. – С. 1597–1603.
2. Агафонов, Г. И. Универсальная гидротермальная технология синтеза красных железоксидных пигментов / Г. И. Агафонов [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1999. – № 7–8. – С. 41–46.
3. Исследование состава и свойств промежуточных и конечных продуктов в системе $FeSO_4-H_2SO_4-KOH-H_2O$. Научный рук. д. т. н., проф. Л. С. Ещенко, Магистрант И.У. Рахманов, студ. В. В. Климович, студ. Д.В. Гайдук //71-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов БГТУ, 20-25 апреля 2020 г., г. Минск, БГТУ, - 221с.
4. Общие основы химической технологии. Польша, 1973. Пер. с польск. под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова и к. т. н. М.И. Курочкиной. Л., «Химия», 1977.

УДК 332.1; 519.2

Р. А. Жуков, Н. О. Козлова, М. А. Плинская, Д. В. Одинокова
Тульский филиал Финансового университета при
Правительстве Российской Федерации
Тула, Россия

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ
ПОДСИСТЕМЫ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
«ЭФРА»**