

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КВАРЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ, РАЗРАБОТАННАЯ ООО «ПЛАЗЛЭЙ»

Гонтарь А. И.¹, Костромин М. В.², Заярный А. А.¹, Воробьев В. В.¹

¹ ООО «ПЛАЗЛЭЙ», Зеленоград

² Забайкальский государственный университет, Чита

В последнее время потребители постоянно ужесточают требования к качеству кварцевых концентратов, поэтому перед производителями поставлена задача получения кварцевых концентратов с повышенным качеством.

Разработанная ООО «ПЛАЗЛЭЙ» технология предназначена для селективного измельчения кварцевого сырья с последующим выделением в хвосты обогащения вмещающих минеральных частиц из кварцевых концентратов, удаления минеральных частиц в виде плёнок с поверхности зёрен кварцевой крупки, газо-жидких включений из зерен кварца, химических элементов

как вредных примесей из дислокационных каналов и поверхности кварца. До настоящего времени на отечественных горно-обогатительных комбинатах процессы глубокого обогащения по удалению структурных примесей из кварцевых концентратов не применялись и считались невозможными из-за отсутствия технических решений [4].

Мировым лидером получения высокочистого кварца (ВЧК) является компания Unimin Corporation/Sibelco (США). Типовой химический анализ основных сортов ВЧК данной компании представлен в таблице 1.

Таблица 1

Содержание элементов-примесей в кварцевых продуктах компании Unimin Corporation, ppm [5]

Эл.	ЮТА стандарт	ЮТА для ламповых труб	ЮТА тигельный	ЮТА-4	ЮТА-6	ЮТА-8
Al	16.2	32.9	17.2	8.0	8.0	7.0
Ca	0.5	4.6	0.5	0.6	0.6	0.5
Fe	0.23	3.1	0.7	0.3	0.15	<0.03
Li	0.9	–	0.7	0.15	0.15	<0.02
Na	0.9	5.9	1.0	0.9	0.08	0.03
K	0.6	5.8	0.8	0.35	0.07	<0.04
Co	<0.05	–	<0.05	–	–	–
Cu	<0.05	–	<0.05	<0.05	<0.05	0.002
Ge	0.9	–	1.0	–	–	–
Mg	<0.05	0.1	0.1	<0.05	<0.05	<0.02
Mn	<0.05	–	0.1	<0.05	<0.05	<0.02
Ni	<0.05	–	0.08	<0.05	<0.05	<0.02
P	0.1	–	0.08	0.05	0.05	0.05
Sr	<0.05	–	<0.05	–	–	–
B	0.08	–	–	0.04	0.04	<0.04
Ti	1.30	–	1.1	1.4	1.4	1.2
V	<0.05	–	<0.05	–	–	–
Zn	0.10	–	<0.05	–	–	–
Zr	1.30	–	0.8	<0.1	<0.1	<0.1
Σ	23.51	52.4	24.46	12.14	10.89	9.075

Сорт IOTA-Стандарт содержит 16 ppm Al. Из данного сорта сверхчистого кварца возможно получать плавленное кварцевое стекло с низким коэффициентом термического расширения. Такое стекло используется в высокотемпературных колбах для ртутных и галогеновых ламп, а также в полупроводниковых кварцевых изделиях.

Сорт IOTA-4 является основным сырьём для полупроводниковой промышленности. Из данного кварца получают кварцевое стекло с высокой вязкостью.

Сорт IOTA-6 применяется для производства стекла, используемого в низкощелочных кварцевых изделиях, диффузионных трубах. Низкий уровень щелочей значительно способствует повышению качества кварцевого стекла.

Сорт IOTA-8 впервые на рынке появился в конце 1999 года и является самым высоким в серии с общим содержанием K, Li и Na сниженным до 90 ppb, и важнейшими переходными металлами <50 ppb. Эта высшая степень чистоты в альфа-кварцевом порошке ведёт к долгому сроку службы изделий из него, которые могут функционировать при высоких температурах с минимальным риском деформации [2]. Данный сорт кварцевой крупки применяется для изготовления тиглей большого диаметра.

Российский производитель обогащённого кварца ООО «Русский кварц» выпускает кварцевые концентраты в соответствии с ISO 9001:2015. Характеристики самого чистого концентрата RQ-1K, только мелкой фракции 75–180 мкм, пригодны не для всех способов наплава кварцевого стекла, полученного после финишной операции обогащения – высокотемпературного хлорирования, представлены в таблице 2 [6].

Таблица 2

Содержание элементов-примесей в кварцевом концентрате ООО «Русский кварц», ppm

ВЧК	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg	Na	Ti
RQ-1K	5.0	0.3	0.2	0.1	0.24	0.1	0.1	3.0

Качество отечественных кварцевых концентратов значительно уступает качеству кварцевых концентратов зарубежных производителей по плавочным свойствам и температуре вязкости из-за низкого содержания Al.

На основе изучения и анализа литературных источников, результатов научных исследований и производственного опыта российских компа-

ний, включая проведение собственных тестовых и экспериментальных испытаний, в ООО «ПЛАЗЛЭЙ» разработана технологическая схема получения кварцевых концентратов повышенного качества. С использованием разработанной схемы осуществлен монтаж опытно-промышленной линии (ОПЛ ООО «ПЛАЗЛЭЙ») для определения оптимальных технологических параметров эксплуатации технологического оборудования, с последующей разработкой рабочего проекта и строительством обогатительной фабрики.

В промышленных условиях, для дробления кварцевого сырья планируется применять двухстадийное непрерывное электроимпульсное дробление, основанное на принципе эффекта Юткина (электрогидродинамического удара). При данном способе дробления и измельчения происходит дезинтеграция вмещающих горных пород по дислокациям их срастаний с кварцем, а обогащаемый материал получает минимальные загрязнения от рабочих поверхностей оборудования, по сравнению с классическими способами разрушения. В совокупности проведения электроимпульсного дробления первой стадии, классификации, фотосепарации, электроимпульсного дробления второй стадии, мокрой магнитной сепарации, обесшламливания и обезвоживания, на выходе получается частично обогащённая рабочая фракция кварцевой крупки крупностью +0.075–0.4 мм. Применение в технологической схеме фотосепарации позволяет исключить трудоёмкую операцию ручной рудосортировки исходного кускового кварца. В таблице 3 представлена динамика содержания примесей в кварцевой крупке до и после электроимпульсного дробления жильного кварца месторождения Губерлинка.

Для удаления с поверхности кварцевой крупки ожезнённой минеральной пленки и остаточных тонкодисперсных сростков вмещающих минералов, кварцевый материал поступает на оттирку в растворе соляной кислоты. Далее кислотный раствор удаляется и отправляется на регенерацию. Кварцевую крупку отмывают до нейтральной среды и разбивают при помощи вибрационного сита на два подкласса для дальнейшего обогащения.

Выделение лёгких (полевой шпал, слюда и т.д.) и тяжёлых минералов относительно кварца осуществляется с помощью концентрационных столов шламового исполнения. Для каждого типа концентрационных столов задаются свои технологические параметры работы [3].

После проведения процесса гравитации обогащённые кварцевые продукты классифицируются на дополнительные подклассы. Классифицированные кварцевые продукты поступают на ультразвуковое обогащение. Ультразвуковая обработка даёт возможность очистить от плёнок

гидроокислов железа и остаточных шламовых покрытий кварцевых зерен от минералов (турмалина, полевого шпата) [1], а также удалить остатки свободных зёрен сопутствующих минералов. Пройдя стадию ультразвукового обогащения, кварцевые продукты обесшламливаются и обезвоживаются.

Таблица 3

Содержание элементов-примесей в крупке жильного кварца месторождения Губерлинка до и после электроимпульсного дробления, ppm

Элемент	Исходная крупка < 150 мм	Обогащенная крупка 80–250 мкм
Железо	1100	8.8
Титан	136	4.1
Цирконий	3	< 0.01
Марганец	6.2	0.09
Алюминий	610	16
Медь	3.1	0.1
Цинк	4	0.18
Бор	0.63	0.25
Никель	1.5	0.035
Хром	1.5	0.034
Кобальт	1.2	0.021
Кальций	42	21
Стронций	1.5	0.28
Барий	3.5	0.53
Магний	38	0.6
Натрий	18	5.1
Калий	95	3.1
Литий	0.59	0.26
Германий	0.5	0.51
Фосфор	16	0.38

Следующая операция технологической цепочки состоит в удалении остаточных тонкодисперсных вредных примесей. Главным образом, такие раздробленные частички примесей находятся в системах микротрещин. Данный процесс обогащения осуществляется на электрохимической установке, в растворе соляной кислоты. Далее, кварцевые продукты отмываются, обезвоживаются и поступают на сушку.

В зависимости от требований к качеству конечного продукта кварцевая крупка поступает на установку высокотемпературного хлорирования или на установку плазмохимии.

Хлорирование – это технологический процесс нагрева материалов в атмосфере хлорсодержащих газов производится с целью извлечения из кварцевой крупки хлористых солей.

Плазмохимическая технология в ОПЛ ООО «ПЛАЗЛЭЙ» основана на физико-химическом методе и является заключительным этапом получения кварцевых концентратов для наплава прозрачного стекла, применяемого в электронике, оптике, светотехнике и т.д. Обработка кварцевой крупки в плазме осуществляется с использованием технологических газов для удаления с поверхности и из дислокационных каналов остаточных примесей. До применения плазмохимии считалось невозможным удалить из зерна кварца щелочного металла – лития (Li), так как он является компенсатором заряда Al.

В таблице 4 показана динамика изменения содержания элементов-примесей в крупке бразильского горного хрусталя и жильного кварца

Кыштымского ГОКа в результате обработки плазмой при трёх различных технологических режимах расходов технических газов. Особенность горного хрусталя заключается в том, что щелочные металлы, особенно ухудшающие качество

кварцевого стекла, находятся в основном в дислокационных каналах кристалла, и не извлекаются традиционными методами в кислотных растворах. В то время как плазмообработка приводит к снижению содержания Li, Na, и K.

Таблица 4

Содержание элементов-примесей в крупке Бразильского горного хрусталя и в жильного кварца Кыштымского ГОКа на разных стадиях обработки плазмой, ppm

Элемент	Бр.Х исх	Бр.Х № 1	Бр.Х № 2	Бр.Х № 3	K175 об.б исх	K175 № 1 № 1	K175 № 2	K175 № 3
Li	1.0	0.16	0.06	0.035	0.25	<0.01	<0.01	<0.01
Na	3.5	0.6	0.4	0.3	0.9	0.2	0.16	0.2
K	1.4	0.6	0.6	0.5	0.7	0.4	0.5	0.5
Ti	0.47	0.49	0.43	0.43	2.6	2.8	2.8	2.8
Ca	2.2	2.2	2.2	1.3	0.6	0.7	0.54	0.6
Mg	0.19	0.18	0.18	0.16	0.12	0.12	0.12	0.14
Al	9.4	10	10	10	5.5	4.7	4.5	4.6
Fe	2	1.1	1.6	0.93	0.65	0.47	0.7	0.43
Mn	0.04	0.03	0.03	0.028	0.013	0.018	0.013	0.011
B	0.10	0.085	0.076	0.079	0.11	0.10	0.11	0.11
Cu	0.01	<0.01	0.015	0.016	<0.02	<0.01	0.01	<0.01
Ni	0.056	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.03	<0.02
Cr	0.07	0.034	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

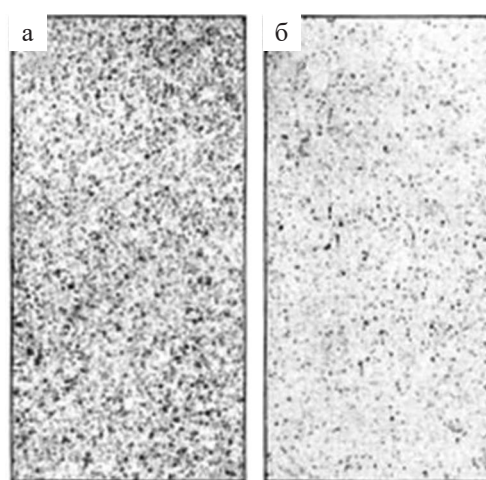
Примечание: Бр.Х исх. – Бразильский горный хрусталь исходный и обработанный плазмой в режимах № 1, 2, 3 (Бр. Х № 1, Бр. Х № 2, Бр. Х № 3); K175 об. – обогащённая крупка жильного кварца Кыштымского ГОКа 175 жилы и обработанная плазмой в режимах № 1, 2, 3 (K175 № 1, K175 № 2, K175 № 3).

Опытно-промышленная линия ООО «ПЛАЗЛЭЙ» будет укомплектована трубчатой печью для плавления кварца в атмосфере защитного газа при строго заданном режиме, что позволит контролировать плавочные свойства кварца для получения ВЧК.

На рисунке показаны сканограммы наплавленных блоков кварца. Количество пузырей в плавленом блоке кварца после обработки крупки плазмой в течение 6 минут уменьшилось. Аналогичный результат достигается при традиционной прокатке кварцевой крупки при температуре 1200 °С в течение 6 часов.

Применение в технологии ООО «ПЛАЗЛЭЙ» метода плазмохимии позволит отказаться от традиционного дорогостоящего и экологически неблагоприятного метода обогащения – флотации, который предусматривает строительство хвостохранилища. Низкая себестоимость обогащения кварцевого сырья при использовании разработанной экологически безопасной технологии ООО «ПЛАЗЛЭЙ» в промышленных условиях, позволит миними-

зировать сроки окупаемости инвестиционных вложений.



R305, 21 %

R305(1), 8 %

Сканограммы плавленных блоков кварца из необработанной (а) и обработанной (б) плазмой крупки

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопова К. С. Применение ультразвука при изучении вещественного состава руд и горных пород. Сборник: «Применение ультразвука для интенсификации процессов обогащения и минералогического анализа», вып. 17, М.: ВИМС, 1971.
2. Анализ высокочистого кварца. Компания Дорфнер, Германия, DORFNER Anzaplan GmbH, 2005 г.
3. Богданов О. С. Справочник по обогащению руд. М.: Недра, 1983, 86 с.
4. Исаев В. А. Структурные примеси в кварце. Горный информационно-технологический бюллетень. М.: 2006 г., 21 с.
5. Крылова Г. И., Скобель Л. С., Митрофанов А. А., Балакирев В. Г. Геологические и минералого-геохимические сведения о кварце с торговой маркой ЮТА (США, штат Северная Каролина). Возможности поиска его аналогов в России // Уральский геологический журнал. 2003. Т. 4. № 34. С. 81–122.
6. Сертификат качества ООО «Русский кварц» № 18/0101 от 18.05.2018 г.