Опытно-промышленная установка для переработки шлаков медного производства Алмалыкского ГМК и свойства синтезированных порошков аморфного кремнезема

М.Ш. Курбанов*, У.М., Нуралиев, Ж.А. Панжиев, С.А. Тулаганов, М. Эрназаров

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Дурмон йули, 33, 100125, Ташкент, Узбекистан

Получена 03.12.2020.

* Corresponding author: e-mail kumir60@yandex.ru, Phone: +998 97 752 1485

В статье изложены результаты по разработке и созданию новой опытно-промышленной установки в виде наклонной вращающейся печи для переработки фторамониевых кремнийсодержащих материалов. Показано, что применение созданной установки для переработки медеплавильных шлаков Алмалыкского ГМК позволяет отделить от шлаков диоксид кремния в виде дисперсных порошков, извлечь железо и получить коллективный концентрат драгоценных, цветных и других металлов. Приведены результаты исследований по распределению частиц по размерам, ИК-спектрам и текстурным характеристикам аморфного диоксида кремния, синтезированного на созданной установке.

Ключевые слова: установка, шлаки, фторид аммония, гексафторсиликат аммония, сублимация, десублимация, аморфный кремнезем, цветные металлы.

The article presents the results of the development and creation of a new pilot-industrial installation in the form of an inclined rotary kiln for processing fluoroammonium silicon-containing materials. It is shown that the use of a plant for the processing of copper-smelting slags of the Almalyk MMC makes it possible to separate silicon dioxide in the form of dispersed powders from slags, extract iron and obtain a collective concentrate of precious, non-ferrous and other metals. The results of studies of particle size distribution, IR spectra and textural characteristics of amorphous silicon dioxide synthesized on the created installation are presented.

Keywords: plant, slag, ammonium fluoride, ammonium hexafluorosilicate, sublimation, desublimation, amorphous silica, non-ferrous metals.

DOI: https//doi.org/10.52304/.v24i1.305

I. Введение

В настоящее время в АО “Алмалыкский ГМК” накоплено большое количество медных шлаков, содержащих цветные, драгоценные и редкие металлы, извлечение (или доизвлечение) которых является достаточно трудной задачей [1, 2].

Химический состав медных шлаков имеет свою особенность, заключающуюся в том, что от 30 до 40% состава шлака состоит из диоксида кремния (SiO_2) и примерно в таком же количестве содержатся оксиды железа [2]. Удаление SiO_2 из шлаков (т.е. обескремнивание их) и далее отделение железа из остатков шлака позволит получить коллективный концентрат цветных, благородных и редких металлов.

Проблема разработки эффективных технологий переработки медных шлаков Алмалыкского ГМК обсуждается на протяжении многих лет [1-4], однако к настоящему времени ни одна рациональная технология переработки медных шлаков не была реализована. Это связано с тем, что технология может быть успешно применена в производстве только в том случае, если она экономически оправдана, энергетически эффективна, комплексна и не требует применения сложной технологической схемы и многих реагентов, приводящих к удорожанию технологии.

Для решения этой проблемы перспективной, на наш взгляд, является фторидная технология переработки кремнийсодержащих минералов [5, 6], которая эффективно может применяться и для переработки медных шлаков Алмалыкского ГМК с использованием только одного реагента – фторида аммония (NH_4F). Физико-химические свойства NH_4F позволяют регенерацию его в технологическом процессе и организацию замкнутого технологического цикла. Это и является одним из важных преимуществ применения NH_4F в качестве такого реагента. Можно утверждать, что фторидная технология переработки кремнийсодержащего сырья является безотходной и экономически эффективной технологией.

Эта технология основана на переработке и очистке сырья на основе сочетания физических эффектов сублимации и десублимации. Причем, для сублимации вещества сначала технология предусматривает фторирование сырья при более низких температурах, чем температура самой сублимации вещества. В целом, качество переработки фтораммониевого кремнийсодержащего сырья, чистота получаемого сублимата и т.п. зависят от управляемости процесса. Конструкция аппаратов сублимации большинства предложенных установок представляет собой единую систему [7, 8], что снижает управляемость процессом и тем самым затрудняет получение чистого конечного продукта.

Необходимо отметить, что в процессе переработки медных шлаков фторидная технология позволяет не только извлекать из шлаков благородные и цветные металлы, но и синтезировать одновременно дисперсный порошок диоксида кремния (SiO_2) высокой чистоты. Как известно, высокодисперсные порошки SiO_2, особенно аморфного кремнезема, востребованы в различных отраслях промышленности. Они применяются в медицине и фармацевтической промышленности для создания композитных препаратов, а также наноносителей в клинической тромболитической терапии [9-11], в лакокрасочной промышленности для повышения долговечности, изменения вязкости и текучести красок, лаков и герметиков [12, 13], в пищевой промышленности для предотвращения комкования продуктов питания и спекания их при термообработке [14, 15] и во многих других отраслях [16].

Для внедрения любой технологии в производство важным этапом является опытно-промышленное ее испытание, по результатам которого делается оценка технико-экономических показателей технологии и разрабатываются рекомендации по дальнейшей ее реализации.

Целью настоящей работы является разработка новой конструкции опытно-промышленной установки для переработки фтораммониевого кремнийсодержащего сырья, применение ее для переработки медеплавильных шлаков Алмалыкского ГМК и исследование свойств диоксида кремния, синтезированного на созданной установке.

II. Материалы и методы исследования

Основными исходными материалами являются шлаки медеплавильного производства Алмалыкского ГМК, состоящие из 75% конверторных и 25% отвальных шлаков, и фторид аммония, который был применен в качестве фторирующего реагента.

В табл. 1 представлены результаты химического анализа двух проб использованных шлаков. Как видно из данных табл. 1, основу медных шлаков Алмалыкского ГМК составляют SiO_2 и оксиды железа, на их долю приходится более 80%. В экспериментах первоначально были удалены из шлака именно эти макрокомпоненты с получением в остатке концентрата ценных компонентов, состоящего из драгоценных и цветных металлов. Для удаления SiO_2 из шлака использовали NH_4F (производство Guangzhou Yijia Supply Chain Ldt.), представляющий собой белое кристаллическое зернистое вещество с содержанием NH_4F ≥98%, после удаления SiO_2 железо отделяли магнитной сепарацией.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022

Таблица 1. Химический состав использованных шлаков медного производства Алмалыкского ГМК

Исходный шлак	SiO_2	Fe	Al	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Na	Mn
Проба 1	41.55	45.45	4.74	2.47	1.80	1.22	>0.4	> 0.4	0.30	0.26
Проба 2	40.83	46.15	4.77	2.74	1.66	1.06	>0.4	> 0.4	0.30	0.27

Для обескремнивания шлака применялась фторидная технология [5, 6, 17], согласно которой фторирование кремнийсодержащего минерального или техногенного сырья осуществлялось при температурах от 30 до 200°C, а количество NH_4F по стехиометрии подбирается таким образом, чтобы его хватило только на разложение SiO_2, не успевая прореагировать с остальными оксидами. Расплавы NH_4F эффективно взаимодействуют с SiO_2, и в результате образуется гексафторсиликат аммония (ГФСА) $(NH_4)_2SiF_6$ по реакции:

$$SiO_2+6NH_4F = (NH_4)_2SiF_6+4NH_3+2H_2O. \quad (2.1)$$

Образовавшийся ГФСА при нагревании возгоняется без разложения и при температуре свыше 320°C сублимируется и полностью переходит в газовую фазу. Для получения SiO_2 проводится гидролиз ГФСА под действием аммиачной воды (NH_4OH):

$$(NH_4)_2SiF_6+4NH_4OH = SiO_2+6NH_4F+2H_2O. \quad (2.2)$$

Отделяемый фильтрацией из аммиачного раствора SiO_2 в виде дисперсного порошка подлежит сушке и прокаливанию. После фильтрационного отделения SiO_2 остается раствор NH_4F, при выпаривании которого NH_4F кристаллизуется в бифторид аммония:

$$2NH_4F = NH_4HF_2+NH_3, \quad (2.3)$$

который возвращается в начало технологического процесса, то есть раствор NH_4F после отделения SiO_2 используется для регенерации бифторида аммония NH_4HF_2. Таким образом, технологией предусмотрена возможность регенерации используемого реагента.

Анализ химического состава исходного сырья и полученных продуктов проводили на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ICP MS 7700 ("Agilent Technologies International Japan, Ltd", Япония).

Рентгенодифрактограммы были получены на автоматизированном рентгеновском дифрактометре XRD-6100 (Shimadzu, Япония) в CuKα-излучении при комнатной температуре в диапазоне углов 2θ от 10° до 70° с шагом 0.02° и экспозицией в точке 1 сек.

Распределение частиц по размерам диоксида кремния изучали методом лазерной корреляционной спектроскопии на приборе Zetasizer Nano ZS (“Malvern Panalytical”, Великобритания) с универсальной ячейкой ZEN1002 и длиной волны λ = 633 нм и углом рассеивания 13 и 176°. Точность определения размеров частиц и воспроизводимость составляют ±1–2%. Суспензии образцов синтезированного диоксида кремния заданной концентрации (C = 1 масс.%) готовили на деионизированной воде с применением ультразвукового диспергирования (гомогенизатор Sonopuls HD 2040, Bandelin, 20 кГц, 80 Вт).

ИК-спектроскопические исследования проводили на спектрофотометре Specord M80 (Carl Zeiss, Германия). Для этого образцы диоксида кремния смешивали с KBr в соотношении 1:100 и прессовали в пластины размером 8×28 мм и массой 20±0.5 мг.

III. Экспериментальная установка

Для переработки шлаков медеплавильного производства Алмалыкского ГМК с использованием фтораммониевой технологии была сконструирована и изготовлена опытно-промышленная установка, состоящая из наклонной вращающейся печи с десублиматором (рис. 1) и абсорбера для поглощения аммиака, кристаллизатора для регенерации фторида аммония, магнитного сепаратора для отделения железа, специальных фильтров для фильтрации диоксида кремния и других вспомогательных средств (рис. 2).

Вращающаяся печь состоит из неподвижной и подвижной секций. Неподвижная секция выполнена в виде трубы длиной 2000 мм и диаметром 100 мм со средствами загрузки сырья и его перемещения в виде шнека. Подвижная секция изготовлена в виде вращающейся трубы длиной 3000 мм, диаметром 200 мм и полностью герме-

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022

тизирована снаружи. Обе секции печи снабжены управляемыми нагревателями, обеспечивающими градиент температуры от 30 до 400°C по всей длине печи для термообработки смеси, состоящей из медного шлака и фторида (бифторида) аммония. Вся реакционная система установки снабжена средствами регулируемого наклона к горизонту относительно её продольной оси.

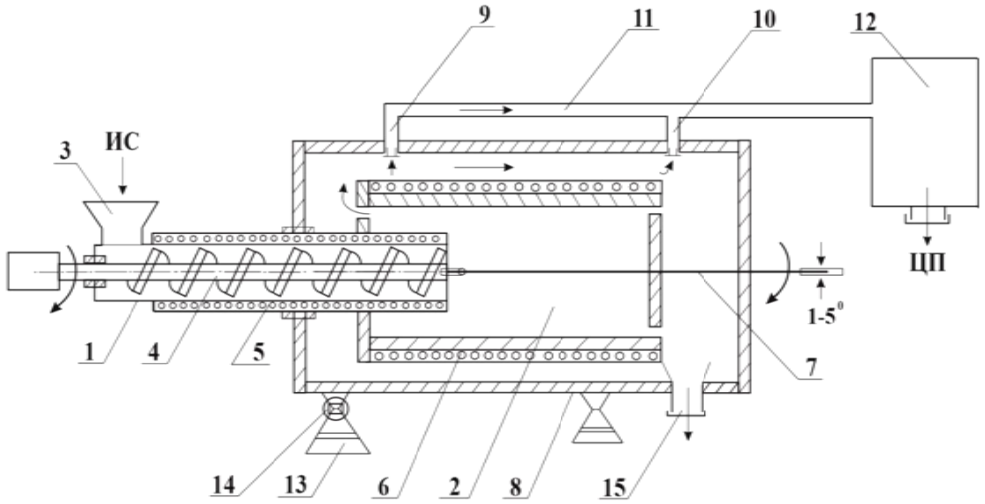


Рисунок 1. Схема сублиматора и десублиматора в виде вращающейся наклонной печи: 1 – неподвижная (зона фторирования) и 2 – подвижная вращающаяся части секции сублимации; 3 – средства загрузки исходного сырья (обозначено «ИС» с жирной стрелкой), 4 – шнек для перемещения сырья, 5 и 6 – нагреватели, 7 – средства вращения, 8 – герметизация трубы 2; 9 и 10 – патрубки, 11 – трубопровод для отвода газов к десублиматору, 12 – десублиматор, 13 – опора установки, 14 – регулировочный винт наклона установки к горизонту, 15 – ёмкость со сдвигающейся заслонкой, ЦП – целевой продукт процесса десублимации. Ход паров и газов, образующихся в результате нагрева сырья, показан стрелками.

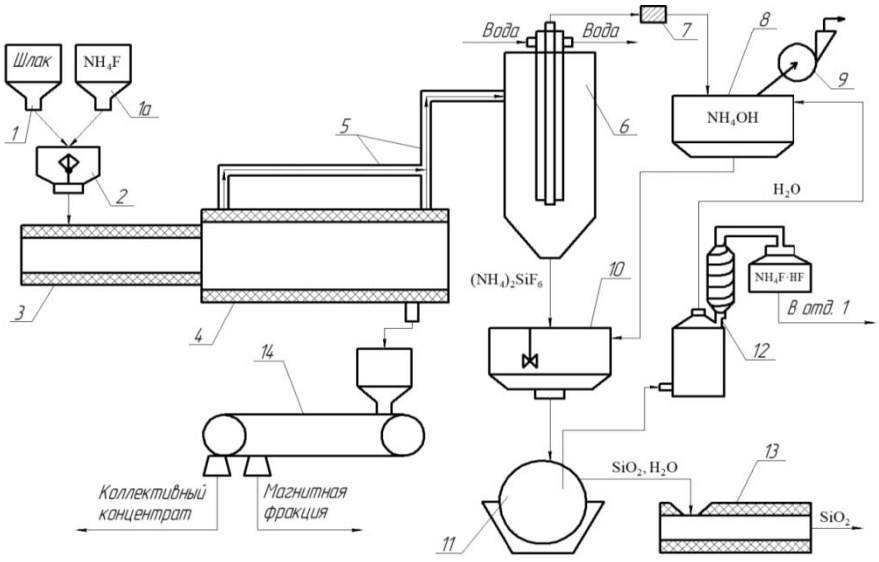


Рисунок 2. Аппаратурно-технологическая схема опытно-промышленной установки с использованием фтораммонийной технологии: 1 и 1а – бункера приема шлака и фторида аммония; 2 – смеситель; 3 – печь фторирования; 4 – сублиматор; 5 – трубка для выхода газов и сублимата; 6 – гидроциклон (десублиматор); 7 – фильтр; 8 – абсорбер; 9 – высасывающий насос; 10 – аппарат для перемешивания; 11 – нутч фильтр; 12 – кристаллизатор; 13 – печь для сушки; 14 – магнитный сепаратор.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022

Эксперименты проводили с учетом особенностей фторидной технологии. Предварительно подготовленную исходную смесь медного шлака и фторида аммония, сформированную по стехиометрическому соотношению к содержанию диоксида кремния в шлаке, фторировали в первой секции печи в течение 1–2.5 ч при температурах от 30 до 200°C. Сублимацию ГФСА осуществляли во второй секции печи в течение 1.5 ч в диапазоне температур 320–400°C.

Для синтеза SiO_2 полученный ГФСА подвергали аммиачному гидролизу в 10% растворе аммиака, и полученную суспензию перемешивали в течение одного часа при комнатной температуре, после чего фильтрацией отделяли осадок и подвергали трехкратной промывке и сушке при 110–120°C в течение трех часов.

После удаления SiO_2 из основы шлаков оставшаяся после термообработки часть шлаков в виде кеков, содержащая железо и драгоценные, цветные и другие металлы, подвергалась магнитной сепарации для отделения железа. Остаток после магнитной сепарации представлял собой коллективный концентрат, содержащий такие ценные компоненты, как медь, цинк, драгоценные и легкие цветные металлы. Переработка концентратов для извлечения этих металлов осуществлялась стандартными пиро- и гидрометаллургическими способами, применяемыми в горно-металлургической отрасли.

Общая аппаратурно-технологическая схема разработанной опытно-промышленной установки (рис. 2) включает, согласно фторидной технологии, все этапы переработки шлака: измельчение и смешивание исходного шлака с NH_4F; фторирование смеси, состоящей из шлака и NH_4F; сублимацию и десублимацию ГФСА, его гидролиз в аммиачном растворе; фильтрацию аммиачного раствора и отделение SiO_2; кристаллизацию NH_4F и возврат его в технологический процесс; сушку SiO_2; магнитную сепарацию кеков для отделения железа и получения коллективного концентрата ценных компонентов.

IV. Результаты и обсуждение

Созданная установка предназначена для переработки фтораммониевого кремнийсодержащего сырья путем сочетания физических эффектов сублимации и десублимации. При разработке и создании ее реализованы следующие новые подходы.

Сублимация ГФСА осуществляется в двух секциях, автономно управляемых по температуре и перемещению сырья. Это позволяет сначала полностью фторировать кремнийсодержащее сырье при температуре до 200°C, а затем переместить его во вторую секцию для сублимации и полного перехода в газовую фазу при температурах 320–400°C.

Сублимация и десублимация осуществляются в пределах одной замкнутой системы, а образовавшиеся газы выводятся как из зоны фторирования, так и из вращающейся секции сублиматора. Десублимация происходит в отдельной охлаждаемой камере, что имеет важное значение для получения чистого десублимата.

Процесс переработки сырья на установке осуществляется в непрерывном режиме, что является существенным для организации непрерывного производственного процесса.

Следует отметить, что установка позволяет одновременно отделять от основы медных шлаков диоксид кремния и концентраты ценных компонентов металлов. В рамках фторидной технологии ее можно применять и для переработки других кремнийсодержащих твердых отходов горнодобывающей отрасли [18] и золошлаков теплоэлектростанций [19], а также для разделения многокомпонентных горных пород на индивидуальные оксиды [20].

Проведенные эксперименты на опытно-промышленной установке позволили переработать медный шлак с получением диоксида кремния в виде дисперсных порошков и кеков в виде концентрата железа, цветных и других ценных металлов (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав кеков, полученных после обескремнивания шлака (в мас.%.).

Fe	Al	Cu	Mg	K	Zn	Si	Pb	Ca	Na	Ba	Sn	Ag
60.10	6.03	4.01	4.03	1.52	0.80	0.61	0.50	0.62	0.63	0.03	0.005	6×10^{-4}

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022

В табл. 2 приведены химические составы концентратов после обескремнивания и магнитной сепарации.

Сравнение данных табл. 1 и 2 показывает, что после обескремнивания шлака содержание ценных компонентов в продукте переработки, в том числе цветных и других ценных металлов, увеличилось значительно. Например, содержание Cu увеличилось в 10 раз, Mg в 3.5, Zn в 2, Fe в 1.3, Al в 1.2 раза и т.д.

Такое высокое содержание железа в конечном концентрате, по-видимому, связано с нахождением его в виде немагнитных оксидов.

Наряду с концентратом извлеченных металлов, получен дисперсный порошок диоксида кремния и изучены его свойства [21]. Анализ его химического состава показал, что чистота продукта по SiO_2 составляет не менее 99.97 мас.%.

Рентгенограмма синтезированного порошка SiO_2 характеризуется наличием широкого гало в диапазоне 25 град. 2θ, что соответствует присутствию в нем рентгеноаморфного материала (рис. 3).

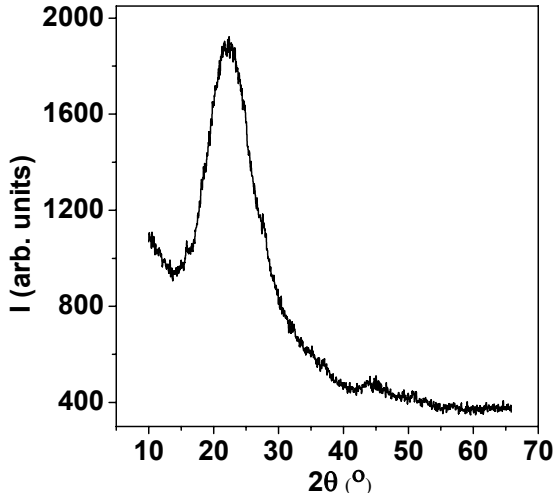


Рисунок 3. Рентгенодифрактограмма синтезированного порошка диоксида кремния, полученного из шлаков медного производства Алмалыкского ГМК.

Методом лазерной корреляционной спектроскопии установлено, что распределение частиц по размерам аморфного SiO_2 в водной среде является полимодальным и представлено агрегатами 100–220 нм и агломератами агрегатов с максимумами при 1100–1300 и 5400–5700 нм (рис. 4).

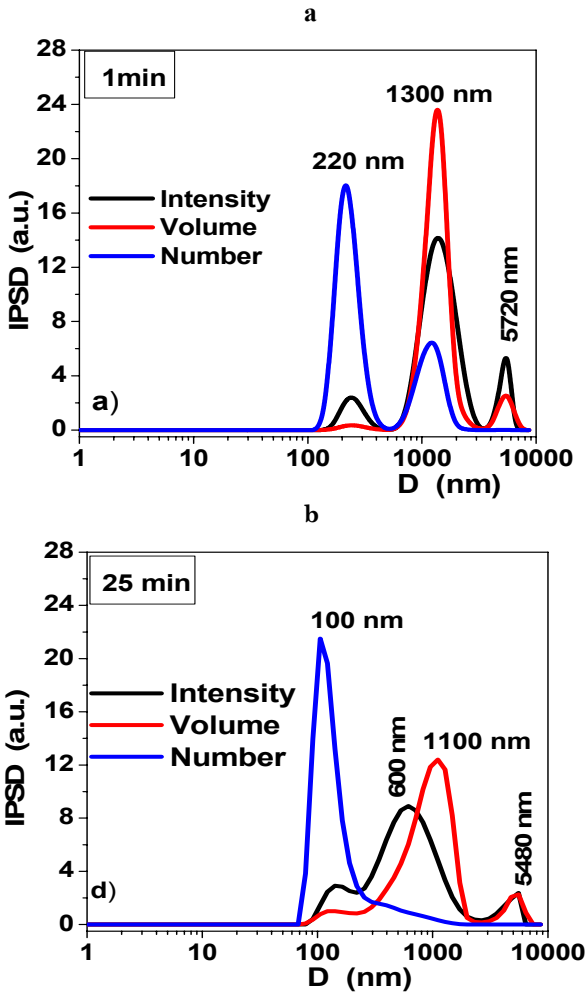


Рисунок 4. Распределение частиц по размерам относительно интенсивности рассеяния света (*I*), объема частиц (*V*), и числа частиц (*N*) полученного диоксида кремния при ультразвуковой обработке в течении 1 мин (**a**) и 25 мин (**b**) в водной среде (C_{SiO2}= 1 wt.%).

Увеличение времени ультразвуковой обработки водных суспензий диоксида кремния с 1 до 25 мин не оказывает существенного влияния на тримодальный характер распределения, что свидетельствует об образовании достаточно прочных агломератов. Вместе с тем, из рис. 4 видно, что с увеличением времени ультразвуковой обработки максимальные значения в распределении частиц по размерам уменьшаются практически более чем в 2 раза, например, по Intensity от 1300 (при 1 мин) до 600 нм (при 25 мин) и Number – от 220 до 100 нм, что может быть объяснено частичным разрушением агломератов.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022

На рис. 5 представлены ИК-спектры диоксида кремния, которые показывают наличие характерных полос деформационных колебаний Si-O-Si при 468 $см^{-1}$ (интенсивная) и O-Si-O при 800 $см^{-1}$ (средняя интенсивность), полос валентных колебаний Si-O-Si в диапазоне 1000–1200 $см^{-1}$. Эта отчетливая полоса характеризует реакционную способность кремнезема. Полосы при 1636, 3200–3500 $см^{-1}$, относящиеся к адсорбированной воде, которая связана с силанольными группами водородными связями, указывают на ее значительное содержание в синтезированных порошках SiO_2.

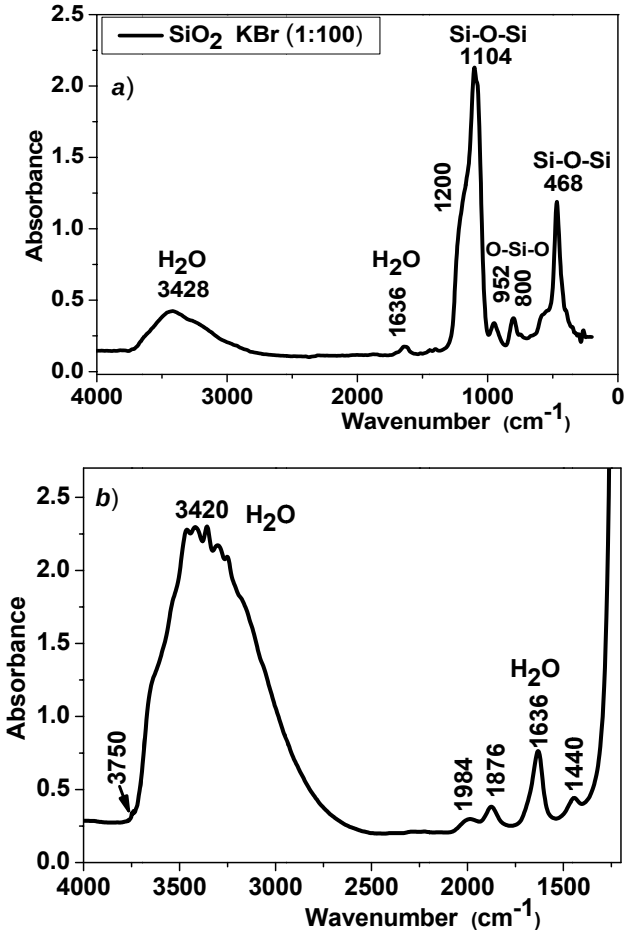


Рисунок 5. ИК-спектры аморфного порошка диоксида кремния: а) с KBr в соотношении 1:100, б) исходного, снятые на пропускание.

Изотерма адсорбции азота для полученного образца диоксида кремния, приведенная на рис. 6*a*, имеет *S*-образную форму. Такая форма изотермы свидетельствует о протекании полимолекулярной адсорбции. Выгнутый начальный участок свидетельствует о сильном взаимодействии адсорбата с поверхностью кремнезема. В области высоких давлений изотерма имеет изгиб с петлей гистерезиса (тип IV), соответствующей текстурной пористости агрегатов непористых наночастиц (рис. 6*a*). Форма петли гистерезиса свидетельствует о преобладающем вкладе мезопор преимущественно цилиндрической формы (заполненных адсорбированным азотом при измерениях) [22, 23].

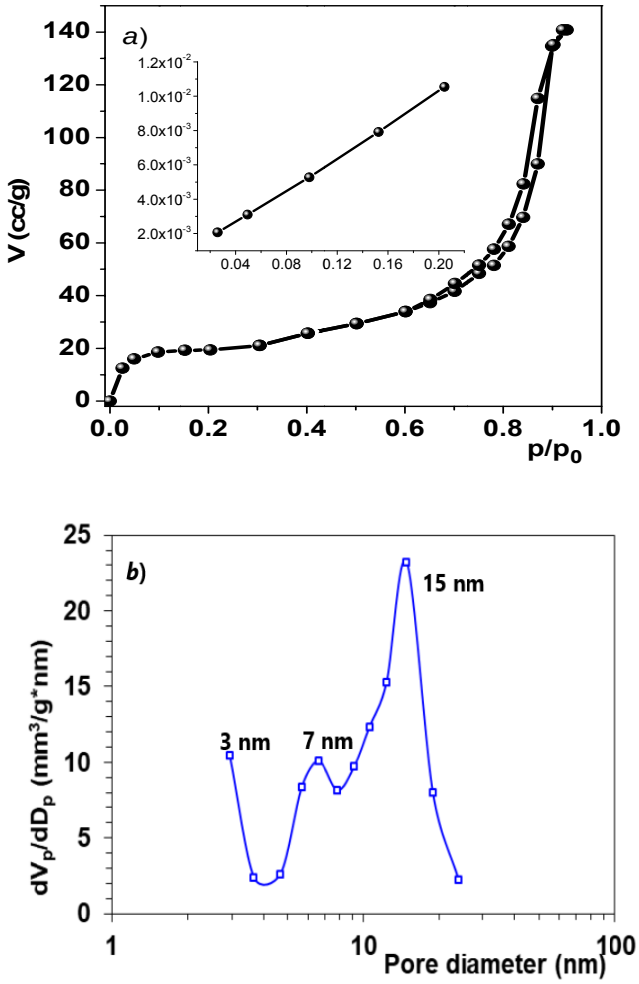


Рисунок 6. Изотерма адсорбции-десорбции азота (a) и распределение пор по размерам для синтезированного диоксида кремния (b).

Исследование удельной поверхности и сорбционной емкости образцов методом низкотемпературной адсорбции азота показало, что порошки SiO_2 имеют максимальную удельную поверхность около 64 $м^2/г$ по БЭТ и 93 $м^2/г$ по Легмюру.

Общий объем пор составляет 218 $мм^3/г$, в том числе микропоры 3.7 $мм^3/г$. Общая площадь мик-

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022

ропор составляет 10.5 $м^2$/г, немикропористая поверхность – 53.4 $м^2$/ г. Кривые распределения пор по размерам (рис. 6*b*), рассчитанные по изотермам адсорбции-десорбции азота, демонстрируют три характерных максимума, относящихся к мезопорам (R = 2–50 нм). Узкие пустоты между наночастицами, близко расположенными в одних и тех же агрегатах, также могут давать свой вклад в пористость исследованных порошков.

V. Заключение

Разработана и изготовлена новая опытно-промышленная установка в виде наклонной вращающейся печи для переработки шлаков медного производства, основанная на фторамониевой технологии переработки кремний-содержащего сырья с использованием сочетания физических эффектов сублимации и десублимации. Максимальная температура процесса переработки сырья составляет не более 400°С, а используемый реагент регенерируется, что повышает перспективность предложенной технологии как ресурсо- и энергосберегающей технологии.

Показано, что созданная установка позволяет проводить в непрерывном режиме обескремнивание шлака медного производства, отделение железа и получение коллективного концентрата драгоценных, цветных и других металлов. Она может быть применена для извлечения ценных компонентов не только из шлаков медного производства, но и из других кремнийсодержащих твердых отходов горнодобывающей отрасли, золошлаков теплоэлектростанций и т.д.

Установлено, что распределение частиц по размерам аморфного SiO_2 в водной среде при концентрации 1 масс.% носит полимодальный характер и преимущественно представлено агрегатами (100–220 нм) и агломератами агрегатов (1300–5500 нм). Увеличение времени ультразвуковой обработки существенно не изменяет характер распределения частиц по размерам. Но при увеличении времени ультразвуковой обработки до 25 мин наблюдается уменьшение размеров агрегатов более чем в 2 раза, что может быть объяснено частичным разрушением агломератов.

Показано, что синтезированные порошки SiO_2 имеют максимальную удельную поверхность 64 $м^2$/г по БЭТ и 93 $м^2$/г по Легмюру. Общий объем пор составляет 218 $мм^3$/г, в том числе микропоры 3.7 $мм^3$/г. Общая площадь микропор составляет 10.5 $м^2$/г, площадь немикропористой поверхности 53.4 $м^2$/ г.

Благодарности. Работа выполнена по гранту №ФЗ-201907045 Министерства инновационного развития Республики Узбекистан.

Метаданные

A pilot-industrial installation for processing copper production slag of Almalyk MMC and properties of synthetized amorphous silica powders

M.Sh. Kurbanov, U.M. Nuraliev, Zh.A. Panzhiev, S.A. Tulaganov, M. Ernazarov

Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan, Durmon yuli str., 33, 100125, Tashkent, Uzbekistan

The article presents the results of the development and creation of a new pilot-industrial installation in the form of an inclined rotary kiln for processing fluoroammonium silicon-containing materials. It is shown that the use of a plant for the processing of copper-smelting slags of the Almalyk MMC makes it possible to separate silicon dioxide in the form of dispersed powders from slags, extract iron and obtain a collective concentrate of precious, nonferrous and other metals. The results of studies of particle size distribution, IR spectra and textural characteristics of amorphous silicon dioxide synthesized on the created installation are presented.

Keywords: plant, slag, ammonium fluoride, ammonium hexafluorosilicate, sublimation, desublimation, amorphous silica, nonferrous metals.

Литература (References)

[1] K. Sanakulov, Nauchno-texnicheskie osnovy pererabotki otxodov gorno-metallurgicheskogo proizvodstva (Tashkent, Fan, 2009). [in Russian].

[2] K.S. Sanakulov, A.S. Khasanov, Pererabotka shlakov mednogo proizvodstva (Tashkent, Fan, 2007) [in Russian].

[3] A.A. Yusupkhodjaev, Sh.T. Khojiev, B.T. Berdiyarov, D.O. Yavkochiva, J.B. Ismailov. Intern. J. Innovative Technology and Exploring Engin. **9**, No.1, 5461-5472 (2019). doi:10.35940/ijitee.A4851119119.119119.

[4] K.Zh. Khakimov, A.S. Khasanov, O.A. Kayumov, A.Yu. Shukurov. Universum: Elektronnyy Nauchnyy Jurnal. **2**, 83 (2021) [in Russian]. https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11313.

[5] L.P. Demyanova, A.S. Buinovsky, V.S. Rimkevich, Yu.N. Malovitsky. IzvestiyaTomskogo politexnicheskogo universiteta **317**, No.3, 77-81 (2010) [in Russian].

[6] M.A. Medkov, G.F. Krysenko and D.G. Epov. Vestnik DVA RAN, № 5, 60-65, (2011) [in Russian]

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022

[7] S.Z. Isyangulov, S.V. Savel'ev, A.A. Pupyshev, E.I. Melnichenko, D.G. Epov. Ustroystvo dlya pererabotki ftoramonievich kremniy-soderjashchikh produktov. Patent RU 2233694. Publ. 10.08.2003 [in Russian].
[8] A.N. Dyachenko, R.I. Kraydenko. Proceedings of the 51 Annual Conference of Metallurgists of CIM (COM 2012) (Niagara, Canada, 2012), pp. 238-248.
[9] Meditsinskaya ximiya I klinicheskoe primenenie dioksida kremniya. Redaktop A.A. Chuiko (Kiev, Naukova Dumka, 2003) [in Russian].
[10] A. Tadayon, R. Jamshidi, A. Esmaeili. International Journal of Pharmaceutics **495**, No.1, 428-438 (2015). https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.09.008
[11] A.A. Chuiko, V.K. Burnt. Khimiya, Fizika i Texnologiya Poverkhnosti Issue. 11-12, 346-357, (2006) [in Russian].
[12] P.V. Grishin. Vestnik Kazanskogo Tehnologicheskogo Universiteta **17**, No.18, 239 (2014). [in Russian].
[13] N.C. Camacho, J.R. Vega Baudrit, Y.C. Urena. Organic & Medicinal Chem. Intern. J **5**, No.1, (2018). https://doi: 10.19080/OMCIJ.2018.05.555654
[14] N.V. Zajceva, M.A. Zemljanova, V.N. Zvezdin, A.A. Dovbysh, I.V. Gmoshinskij, S.A. Hotimchenko, I.V. Safenkova, T.I. Akaf'eva. Voprosy Pitanija **83**, No.2, 42 (2014). [in Russian].
[15] R. Yusoff, L.T.H. Nguyen, P. Chiew, Z.M. Wang, and K. W. Ng. J. Nanopart. Res. **20**, No.3, 76 (2018). https://doi.org/10.1007/s11051-018-4176-8
[16] S. Das, J. Manam, and S.K. Sharma. Journal of Materials Science: Materials in Electronics **27**, No.12, 13217-13228 (2016). https://doi.org/10.1007/s10854-016-5468-
[17] B.M. Abdurakhmanov, M.Sh. Kurbanov, S.A. Tulaganov, M. Ernazarov, L.S. Andriyko, A.I. Marinin, A.Yu. Shevchenko. Uzbek Journal of Physics **23**, No.1, .65-74 (2021). Uzbek Journal of Physics **23**, No.1, 65-74 (2021). [in Russian]. https//doi.org/10.52304/.v23i1.226
[18] M. Medkov, G. Krysenko, D. Epov, P. Sitnik and V. Avramenko. VII Mejdunarodnaya Nauchnaya Konferentsiya «Problemy Kompleksnogo Osvoeniya Georesursov». E3S Web of Conferences **56**, 03019, (2018) [in Russian].
[19] V.S. Rimkevich, A.A. Pushkin, I.V. Girenko. Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Centra Rossiykoy Akademii Nauk **17**, No.5, 304-309 (2015) [in Russian].
[20] A.N. Dyachenko, R.I. Kraidenko. Vestnik Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta **311**, No.3, 38-41, (2007) [in Russian].
[21] M.Sh. Kurbanov, S.A. Tulaganov, M. Ernazarov, L.S. Andriyko, A.I. Marinin, A.Yu. Shevchenko. Journal of Nano- and Electronic Physics **13**, No. 6, 06024 (6pp) (2021). DOI: 10.21272/jnep.13(6).06024
[22] A.W. Adamson, A.P. Gast. Physical Chemistry of Surface. 6-th edition (Wiley, New York, 1997). doi.org/10.1126/science.160.3824.179
[23] V.M. Gunko. Applied Surface Sci. **307**, 444-454 (2014). http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.04.

Олмалиқ КМК мис чиқиндиларини қайта ишлаш учун тажриба-саноат ускунаси ва синтез қилинган аморф кремний хоссалари

М.Ш. Курбанов, У.М. Нуралиев, Ж.А. Панжиев, С.А. Тулаганов, М. Эрназаров

ЎзР ФА У.А. Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти, Дурмон йули, 33, 100125, Тошкент, Узбекистан

Мақолада таркибида кремний бўлган фтораммонийли материалларни қайта ишлаш учун нишаб айланувчи печ кўринишидаги янги тажрибавий-саноат қурилмасини ишлаб чиқиш ва яратиш бўйича олинган натижалар баён қилинган. Яратилган қурилманинг Олмалиқ КМК мис эритиш чиқиндиларига тадбиқ этилиши чиқиндилардан кремний икки оксидини ва темирни дисперсли кукун кўринишида ажратиб олишга ҳамда қимматбаҳо, рангли ва металларнинг коллектив концентратини олишга имконият бериши кўрсатилган. Яратилган қурилмада синтез қилинган аморф кремний икки оксиди заррачаларининг ўлчам бўйича тақсимоти, ўльтрақизил спектри ва текстура характеристикалари бўйича олинган тадқиқот натижалари келтирилган.

Калит сўзлар: ускуна, чиқиндилар, амоний фториди, аммонийгексафторсиликати, сублимация, десублимация, аморфли кремнезем, рангли металлар.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022