

16. Методика дифференциального термического анализа при давлениях до 8 ГПа. –К. : ИСМ НАН УССР, 1989. – 16с.
17. Чепугов А. П. Особенности электрофизических свойств полупроводниковых алмазов, выращенных методом температурного градиента / А. П. Чепугов, А. Н. Катруша, Л. А. Романко и др. // XIV Міжнар. конф. «Породоруйнівний та металооброблюючий інструмент – техніка, технологія його виготовлення та використання». – Морське, 2011.
18. Чепугов А. П. Особенности внутренней структуры крупных полупроводниковых монокристаллов алмаза, выращенных методом температурного градиента / А. П. Чепугов, И. А. Емельянов, В. В. Лысаковский, О. Г. Лысенко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – Т. 15. – С. 277–282.
19. Чепугов О. П. Особливості підготовки зонда з напівпровідникового монокристалу алмазу, легованого бором / О. П. Чепугов, М. О. Цисар, С. О. Ивахненко, О. О. Лещук // Наукові нотатки. – 2013. – № 41 (Ч. 2). – С. 251–255.
20. Kleinert M. Co deposition on Au(111) and Au(100) electrodes: an in situ STM study / M. Kleinert, H.-F. Waibel, G.E. Engelmann, H. Martin, D.M. Kolb // Electrochimica Acta. – 2001. – V. 46. – № 20-21. – P. 3129–3136.
21. Цисар М. О. Фрактальный анализ изображения поверхности нанесенного плазмой покрытия молибдену на нанорівні / М. О. Цисар // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – Т. 1. – № 2. – С. 529–550.
22. Новиков Н. В. Влияние добавок нанодисперсных алмазов на физико-механические свойства металлической матрицы бурового инструмента / Н. В. Новиков, Г. П. Богатырева, Р. К. Богданов и др. // Сверхтвердые материалы. – Т. 2011. – № 4. – С. 70–77.

Поступила 22.06.15

УДК 621.921.34-544.77.052.22:628.31

Г. Д. Ильницкая, Н. А. Олейник, кандидаты технических наук,
В. В. Тимошенко, И. Н. Зайцева, Г. А. Базалий, Ю. П. Ущаповский¹;
Л. П. Антоненко, канд. хим. наук²;

¹*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

²*Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРШКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ

Показано, что повышение экологической безопасности методов получения порошков синтетических алмазов достигается путем обезвреживания технологических сливов после извлечения алмазного сырья от содержания в них тяжелых металлов до предельно допустимых норм реагентным методом с использованием сначала гидроксида кальция, а затем флокулянтов; для очистки питьевой воды целесообразно применение фильтров с добавлением нанопорошков алмаза.

Ключевые слова: технологические сливы, экологическая безопасность, тяжелые металлы, флокулянт, очистка питьевой воды.

Введение

На современном этапе промышленного развития основной тенденцией технического прогресса является технологическое совершенствование производства. К устойчивым тенденциям промышленного развития относится постоянное расширение круга материалов, используемых для изготовления промышленных изделий в атомной технике, электронике, горной технике и др. При

этом постоянное повышение прочности, износостойкости и твердости таких материалов вызывают исключительные трудности их механической обработки. Наряду с этим ужесточаются требования к повышению производительности механической обработки, снижению ее энергоемкости, а также качеству обрабатываемой рабочей поверхности. Такое состояние производства определяет постоянное расширение инструментов, оснащенных синтетическими алмазами. Известно много методов синтеза алмаза заданного качества. Многообразие этих методов требует применения различных методов для извлечения и переработки алмазного сырья.

Алмазосодержащий продукт обычно состоит из трех основных компонентов – алмаза, графита и металла, используемого при синтезе. После синтеза указанные компоненты образуют плотный брикет, связующей основой которого является металл, предварительно подвергшийся высокому давлению и температуре. В общем случае процесс извлечения алмазов состоит из двух основных этапов: растворения металлической составляющей и удаления неперекристаллизовавшегося графита [1].

Развитие синтеза алмазов с использованием металлов-растворителей Ni, Mn, Fe, Co, Cu и др., а также графитов различных месторождений привело к созданию спектра продуктов синтеза различного состава. Это обусловило необходимость разработки и создания новой концепции переработки алмазосодержащего сырья [2].

Первоначальная классическая схема извлечения алмазов из продуктов синтеза, так называемая “прямая” химия, включала три основных этапа: растворение металлической составляющей продукта синтеза алмазов, жидкофазное окисление неперекристаллизовавшегося графита, очистку алмазного сырья от примесей [3]. Такая схема имела существенные недостатки: высокую трудоемкость, безвозвратную потерю ценных компонентов (металлов-растворителей, графита); высокую экологическую опасность, связанную с большим расходом концентрированных кислот, хромового ангидрида (веществ I и II классов опасности), а также большим объемом промышленных сливов и газовых выбросов в атмосферу.

В последнее время технология извлечения алмазного сырья из продукта синтеза претерпела существенные изменения. На ее основе в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработали ресурсосберегающую технологию извлечения алмазов из продуктов синтеза. Создание технологии комплексной переработки продукта синтеза алмаза предполагает не только ресурсосбережение и снижение экологического ущерба (за счет утилизации ранее не утилизируемых отходов), но и предотвращение влияния экологического фактора на основные технико-экономические показатели деятельности предприятий [4; 5].

На всех этапах получения алмазного сырья применяют химическую обработку с получением промышленных технологических сливов. Как правило, сливы содержат ионы тяжелых металлов: марганца, никеля, хрома, железа и др. Такие технологические сливы требуют обезвреживания до предельно допустимой концентрации (ПДК) для повторного использования или сброса в канализацию [5].

Существует множество способов обезвреживания промышленных технологических сливов: коагуляция, флокуляция, сорбция, окисление, ионный обмен, обратный осмос, экстракция, ректификация, кристаллизация, десорбция, мембранное разделение, электрофизические методы и др. Тяжелые металлы относятся к стойким химическим загрязнителям с токсичными свойствами [1]. Поступая в водную среду, они взаимодействуют с другими компонентами среды, образуя гидратированные ионы, оксигидраты, ионные пары, комплексные неорганические и органические соединения.

Загрязнение пресных вод солями тяжелых металлов является актуальной проблемой во многих регионах мира. Поведение тяжелых металлов в реальных средах сложно и малоисследовано. Вместе с тем их накопление в живой природе вызывает серьезное беспокойство во всем мире. В этой связи поступление тяжелых металлов в атмосферу, водоемы и на земельные участки должно быть взято под жесткий контроль.

Цель настоящей работы – исследовать содержание тяжелых металлов в технологических сливах после извлечения алмазного сырья и методы их обезвреживания.

Методика исследования

Провели эксперименты по обезвреживанию промышленных сливов после извлечения алмазов из продукта синтеза низкопрочных марок алмазов. По методикам, разработанным в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, в технологических сливах после извлечения алмазов определяли содержание тяжелых металлов в виде их массовой доли [6]: Ni, Mn, Fe, Cr, Cu. Массовые доли Cr, Mn определяли с помощью титрования объемным методом, Fe, Co, Cu Ni – фотоколориметрическим методом с помощью фотоколориметра КФК-3-01-«ЗОМЗ».

Результаты исследования и их обсуждение

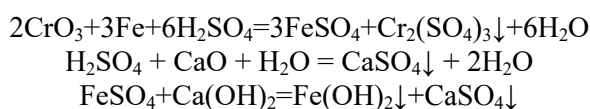
Результаты определения массовой доли Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Ni в технологических сливах после растворения металла и неперекристаллизовавшегося графита приведены в таблице.

Для контроля точности определения содержания тяжелых металлов в исходных технологических сливах массовую долю Ni определяли дополнительно весовым методом. Она составила 20,3 мг/г. Результаты сравнительного определения массовой доли никеля фотоколориметрическим и весовым методами показали, что разница между ними не превышает 10%, т. е. находится на уровне погрешности химического метода анализа.

Технологические сливы, полученные после извлечения алмазного сырья из продукта синтеза химическим способом, обезвреживали реагентным методом.

Реагентный метод чаще других применяют для обезвреживания промышленных вод (в рассматриваемом случае технологических сливов) [7]. Этот метод заключается в нейтрализации промышленных стоков до pH 8,5–9 и обезвреживании ионов вредных веществ до ПДК, затем их перевода в малорастворимые и слабодиссоциированные растворы. После этого осуществляют дальнейшее длительное осаждение, уплотнение, брикетирование твердой фазы, контроль химического состава промышленных стоков. В Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработали технологическую инструкцию ТИ 259000.00759 для локального обезвреживания технологических сливов, образующихся в процессе лабораторных исследований по химической обработке сверхтвердых материалов (СТМ), продуктов синтеза СТМ, материалов, содержащих СТМ [8].

Для осветления и очистки технологических сливов после извлечения алмазного сырья использовали гидроксид кальция в виде 5–10%-ного раствора известкового молока. Например, для обезвреживания кислых сливов с pH < 5, содержащих хром, осуществляли переход ионов шестивалентного хрома до трехвалентного с последующим выделением и нейтрализацией вредных веществ:



Обезвреживание проводили не менее трех раз. В технологических сливах после обезвреживания реагентным методом определяли содержание в виде массовой доли Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Ni. Результаты определения приведены в таблице.

Массовая доля ионов тяжелых металлов в технологических сливах после извлечения алмазов низкопрочных марок

Методы обезвреживания	Массовая доля, мг/л					
	Ni	Mn	Cr ³⁺	Cr ⁶⁺	Fe	Cu
ПДК	0,10	0,01	0,5	0,1	0,5	0,1
Исходные технологические сливы	21,7	355,5	80,6	251,4	6800,0	45,8
Реагентный метод Осветление сливов:						
1 раз	5,4	18,6	10,3	21,6	112,5	7,8
2 раза	0,9	1,1	1,6	21,9	14,5	1,1
3 раза	0,12	0,014	0,42	0,09	0,47	0,09

Как следует из данных таблицы, при обезвреживании технологических сливов за один цикл удаляли не менее 80% ионов тяжелых металлов. Для полного обезвреживания провели еще два повторных цикла. После трехкратного обезвреживания содержание ионов тяжелых металлов приблизилось к предельно допустимой норме.

Таким образом, реагентным методом путем многократного повторения циклов обезвреживания содержание тяжелых металлов в технологических сливах удастся уменьшить до предельно допустимых норм.

В последнее время для регулирования стойкости дисперсных систем, в том числе интенсификации процессов очищения воды от коллоидно-дисперсных веществ тяжелых металлов, чаще всего применяют флокулянты. К флокулянтам относятся неорганические и органические высокомолекулярные соединения, способствующие получению агрегатов в результате объединения нескольких частичек с помощью макромолекулы адсорбированного или химически связанного полимера. Небольшие добавки этих веществ (тысячные или миллионные части массы твердой фазы) существенно изменяют стабильность дисперсий. Эти вещества ускоряют получение хлопьев гидроксидов тяжелых металлов, осаждение их в виде хлопьев и ускоряют степень осветления воды.

Обезвреживание технологических сливов, полученных после извлечения алмазного сырья низкопрочных марок с высоким содержанием тонких классов материала, является важной задачей. Использование флокулянтов для обезвреживания технологических сливов и дополнительного осаждения мелких частиц материала в виде осадка позволит после обработки образовавшегося осадка химическим или термическим методом получить ценный компонент (в данном случае алмазное сырье).

Известным флокулянтом является полиакриламид (ПАА). Этот флокулянт выпускают в виде 7–10%-ного водного желеобразного раствора. Препарат сложной структуры с общей формулой $(\text{CH}_2\text{CHCONH}_2)^n$ способен обезвреживать ионы тяжелых металлов, переводя их в сложные соединения [9].

Обезвреживали технологические сливы с использованием флокулянтов в два этапа. Исследовали технологические сливы, с содержанием 12 г/кг ионов железа и 6,8 г/кг хрома. На первом этапе обезвреживали технологические сливы реагентным методом [8] до ПДК ионов железа 1,3 мг/кг, хрома – 2,5 мг/кг; рН = 8,5 получили путем добавления гидроксида кальция (известкового молока). На втором этапе осаждали твердую фазу без применения флокулянта ПАА, а также с его применением в различной концентрации: 2; 3; 5 и 7 мг/л. Кинетические кривые осаждения

малорастворимых соединений металлов и мелких частиц алмазного сырья показаны на рис. 1.

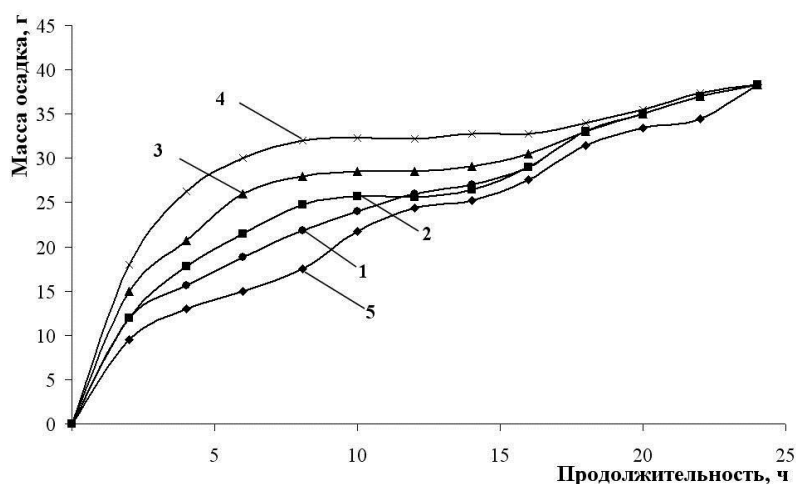


Рис. 1. Кинетические кривые осаждения малорастворимых соединений металлов: 1 – без флокулянта; 2 – с применением флокулянта концентрацией 2 мг/л; 3 – 3 мг/л; 4 – 5 мг/л; 5 – 7 мг/л

Согласно закономерностям осаждения твердой фазы размеры частиц влияют на скорость осаждения и уплотнение жидкой и твердой фаз. Как следует из данных рис. 1, процесс осаждения можно разделить на два этапа. На первом этапе быстро осаждаются твердые и большие частицы в жидком растворе. Очень медленно осаждаются тонкие частицы. Они образуют зону уплотнения, что приводит к снижению скорости осаждения твердой фазы (этап

2). Такая зависимость наблюдается при использовании флокулянта и без его использования.

Создание условий для образования крупных хлопьев за счет введения флокулянта является основным способом интенсификации осаждения. Исследовали влияние концентрации ПАА на осаждение твердой фазы.

Как видно на рис. 1, ПАА эффективно действует только на начальной стадии осаждения. При концентрации ПАА менее 2 мг/л скорость осаждения (кривая 2) почти такая же, как без использования ПАА (кривая 1). При увеличении концентрации до 3 и 5 мг/л повышается скорость осаждения (кривые 3, 4). При концентрации 7 мг/л осаждение проходит хуже, чем без ПАА (кривая 5). При этом скорость осаждения значительно снижается. Возможно, это происходит вследствие того, что при высокой концентрации ПАА снижаются силы отталкивания между отдельными хлопьями, что способствует их агрегированию и всплыванию на поверхность.

На втором этапе при длительном отстаивании (более 8 ч) концентрация ПАА влияет на осаждение в меньшей степени, но закономерность изменения скорости осаждения твердой фазы сохраняется. В этой связи оптимальной является концентрация ПАА 3–5 мг/л.

Таким образом, с применением флокулянта ПАА осаждение слабо растворимых образований тяжелых металлов ускоряется, что эффективно при обезвреживании технологических сливов алмазного производства. Использование ПАА с концентрацией не менее 3–5 мг/л позволяет достичь максимальной скорости осаждения 3,6 г/ч на первом этапе, что в 1,5 раза больше, чем без использования флокулянта. После 8 ч осаждения можно вывести 78% массы малорастворимых соединений.

Наиболее распространенной технологией удаления тяжелых металлов из водной среды является фильтрование. Выбор фильтровальных материалов очень широкий: от тканей и фильтровальной бумаги до экзотических материалов, подобных измельченной скорлупе грецкого ореха и испанского мха. Фильтровальные материалы используют во всех основных отраслях промышленности. Для большинства процессов разработаны специальные фильтровальные материалы [10].

В результате детального изучения адсорбционных свойств нанопорошков алмазов определены перспективы их использования в качестве адсорбентов для очистки питьевой воды [11].

В Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработан новый класс углеродсодержащих адсорбентов на основе алмазных нанопорошков с определенным соотношением углеродных фаз sp^2 - и sp^3 -гибридизации, обладающих уникальными адсорбционными свойствами. Для расширения области применения таких нанопорошков в качестве адсорбентов биологических сред сформировали их поверхностные свойства путем специальной реконструкции. Реконструкция поверхности порошков алмаза заключается в изменении содержания кислородсодержащих групп для

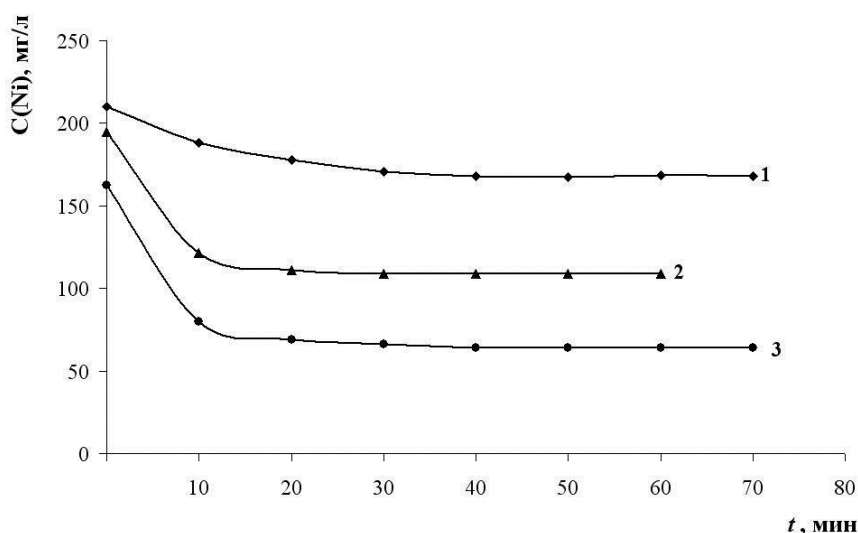


Рис. 2. Зависимости изменения концентрации ионов никеля от продолжительности контакта: 1 – без алмазов; 2 – с нанопорошками алмаза АСУД 99; 3 – АСУД 99р

придания порошкам новых свойств. Установили, что максимальной адсорбционной активностью обладают нанопорошки алмаза, содержащие 10–20 мас.% углеродной фазы sp^2 -гибридизации [12].

Для увеличения удельной площади поверхности нанопорошков алмаза и снижения агрегативной способности алмазных частиц содержание кислородсодержащих групп на поверхности частиц необходимо уменьшить, разработав новые схемы реконструкции поверхности нанопорошков алмаза. В

результате экспериментально получили нанопорошки алмазов с реконструированной поверхностью, содержащие в обозначении индекс «р».

Для исследования изготовили фильтровальные материалы с использованием добавок нанопорошков марок АСУД 99 с удельной площадью поверхности $S_{уд} = 242 \text{ м}^2/\text{г}$, АСУД99р $S_{уд} = 265 \text{ м}^2/\text{г}$ и без них. Для исследования кинетики сорбции суспензию адсорбента смешивали с раствором NiSO_4 для получения концентрации ионов никеля в смеси $200 \text{ мг}/\text{дм}^3$ и содержания адсорбента $5 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Смеси постоянно перемешивали. Пробы отбирали через определенные фиксированные промежутки (2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 и 80 мин), сорбент отделяли от раствора с помощью лабораторной центрифуги, после чего определяли остаточное содержание ионов никеля в растворе фотометрическим методом. Результаты исследований показаны на рис. 2.

Как видно на рис. 2, при использовании фильтровального материала без алмазов в течение первых 20 мин концентрация никеля уменьшилась на 15%. При использовании нанопорошка алмаза АСУД 99 в течение первых 10 мин концентрация ионов никеля в растворе уменьшилась на 23% и через 25 мин достигла равновесной. При использовании нанопорошка алмаза АСУД 99р концентрация ионов меди в течение первых 5 мин уменьшилась на 51%, а равновесная концентрация установилась через 15 мин. Как показали результаты экспериментов, нанопорошки алмаза АСУД 99 и АСУД 99р эффективно удаляют ионы никеля из водных растворов в статических условиях. При этом увеличение удельной площади поверхности алмазов марки АСУД99 с 242 до 265 $\text{м}^2/\text{г}$ алмазов марки АСУД 99р способствует повышению адсорбционного потенциала не менее чем на 20%, что эффективно снижает содержание никеля в растворе.

Таким образом, повышение экологической безопасности методов получения порошков синтетических алмазов достигается обезвреживанием технологических сливов после извлечения алмазного сырья от содержания в них тяжелых металлов до предельно допустимых норм. Обезвреживание производится с помощью применения реагентного метода с использованием сначала гидроксида кальция, затем флокулянтов, для очистки питьевой воды используются фильтры с добавками нанопорошков алмаза.

Выводы

1. Установлено, что с помощью реагентного метода многократным повторением циклов обезвреживания удастся уменьшить содержание тяжелых металлов в технологических сливах до предельно допустимых норм.

2. Установлено, что применение флокулянта ПАА ускоряет осаждение слабо растворимых образований тяжелых металлов и эффективно при обезвреживании технологических сливов алмазного производства. Использование ПАА концентрацией не менее 3-5 мг/л позволяет достичь максимальной скорости осаждения 3,6 г/ч уже на первом этапе, что в 1,5 раза больше, чем без использования флокулянта.

3. Показаны перспективы применения фильтров с добавлением нанопорошков алмаза в качестве адсорбентов для очистки питьевой воды.

Показано, що підвищення екологічної безпеки методів отримання порошків синтетичних алмазів досягається шляхом знешкодження технологічних зливів після вилучення алмазної сировини від вмісту в них важких металів до гранично допустимих норм реагентним методом з використанням спочатку гідроксиду кальцію, а потім флокулянтів; для очищення питної води доцільність використання фільтрів з додаванням нанопорошків алмазу.

Ключові слова: технологічні зливи, екологічна безпека, важкі метали, флокулянт, очищення питної води.

The increase of ecological safety of methods of reception of powders of synthetic diamonds is achieved by disinfecting technological water after extraction of diamond raw material from the contents in them of heavy metals up to maximum permissible norms is shown in article. Disinfecting is made with the help of application in the beginning - reagent method with use calcium hydroxide, then flocculants, and for clearing potable water of use of filters with additives nanopowder diamond and for clearing drinking.

Key words: technological water, ecological safety, heavy metals, flocculant, clearing of potable water.

Литература

1. Исаев Р. Н. Способы извлечения алмазов из различных материалов и методы их очистки (обзор) / Р. Н. Исаев // Сверхтвердые матер. – 1989. - № 2. – С. 30–34.
2. Новиков Н. В. Развитие технологии синтеза алмазов / Н. В. Новиков // Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя. – К. : Наук. думка, 1998. – С. 333–352.
3. Особенности малотоксичных экологически целесообразных технологий извлечения алмазов в зависимости от термобарических условий получения алмазов / Г. П. Богатырева, Г. Ф. Невструев, В. Б. Крук и др. // Физика и техника высоких давлений. – 1992. – 2. – № 3. – С. 89–93.
4. Ресурсосберегающие технологии комплексной переработки алмазосодержащего сырья / Г. П. Богатырева, М. А. Маринич, Г. А. Базалий, Н. А. Олейник // Сверхтвердые матер. – 2001. - № 6. – С. 23–33.
5. Синтетические сверхтвердые материалы : в 3 т. Т. 1: Синтез сверхтвердых материалов / отв ред. Н. В. Новиков. – К. : Наук. думка, 1996. – 280 с.
6. М 23.9–314:2015 - М 23.9–320:2015. Методики определения содержания тяжелых металлов в технологических сливах: Ni, Cr, Mn, Cu, Al, Fe. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2015.
7. Справочник по обогащению руд. Специальные и вспомогательные процессы / под ред. О. С. Богданова, В. И. Ревнивцева. – М. : Недра, 1983. – 376 с.
8. ТИ 259000.00759. Локальное обезвреживание технологических сливов, образующихся в процессе лабораторных исследований по химической обработке сверхтвердых материалов (СТМ), продуктов синтеза СТМ, материалов, содержащих СТМ. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – 17 с.
9. Вейцер Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод / Ю. И. Вейцер. – М. : Стройиздат, 1984. – 202 с.
10. Купчик Л. А. Особливості сорбції іонів важких металів із сольових розчинів лігноцелюлозними сорбентами / Л.А. Купчик, А.А. Ніколайчук, Н.Ю. Боровіцький // Вісн. НТУУ «КПІ». – 2010. – № 2. – С. 60–63.
11. Повышение фильтрующей способности бумажных фильтров / Г. П. Богатырева, Г. Д. Ильницкая, Л. П. Антоненко, О. В. Лещенко // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: сб. науч. тр. XIX междунар. науч.-техн. конф., 11–15 июня 2012 г., г. Бердянск – Бердянск, 2012. – С. 90–100.
12. Наноалмазы: синтез, свойства, применение / Н. В. Новиков, В. В. Даниленко, Г. П. Богатырева, В.И. Падалко // Международная академия "КОНТЕНАНТ". – 2010. – С. 4–22.

Поступила 10.06.15

УДК 621.762.016

Н. В. Новиков, академик НАН Украины¹, **В. В. Стрельчук**, докт. физ-мат наук², **Л. К. Шведов**, канд. техн. наук¹, **И. П. Фесенко**, докт. техн. наук¹, **В. В. Ивженко**, канд. техн. наук¹, **А. С. Николенко**, канд. физ-мат наук², **Ю. Ю. Стубров**, аспирант², **А. Н. Куцай**, канд. физ-мат наук¹

ПОЛУЧЕНИЕ НОВОЙ ФАЗЫ СИАЛОНА ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ, СДВИГОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ И КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

¹Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

²Институт физики полупроводников НАН Украины, г. Киев, Украина

Изучено влияния высокого давления и сдвиговой деформации при комнатной температуре на β -сиалоновую керамику с использованием сдвигового аппарата высокого давления с алмазными наковальнями (АН). Получена новая фаза этой керамики с сильной адгезией к поверхности АН и высокой