

3. Kieffer, R., & Schwarzkopf, P. V. (1957) *Tverdie splavi [Solid alloys]*.– Moscow: Metallurgizdat [in Russian].
4. Panov, V. S., Chuvilin, A.M., & Falkovsky, V. A. (2004). *Technologia spechennykh tverdikh splavov izdelii iz nikh [Technology and properties of sintered hard alloys and their products]*. Moscow: MISIS [in Russian].

УДК 621.539.921.34:622.24.051

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-396-401

**Н.А.Олейник, Г.Д. Ильницкая, Е.П.Виноградова,
А.П. Загора**, кандидаты технических наук; **Г.А. Базалий,
А.Л. Майстренко**, чл.-корр. НАН Украины; **В.Н. Ткач,
Г.А. Петасюк**, доктора технических наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская 2,
04074, г. Киев, Украина, E-mail: oleynik_nonna@ukr.net*

ВОПРОСЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ЧАСТИЦ АЛМАЗА ИЗ ШЛАМА ГОРНОЙ ПОРОДЫ, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ АЛМАЗНОГО БУРОВОГО И КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Представлены результаты исследования шлама отработки песчаника Торезкого месторождения, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента. Установлена возможность извлечения частиц алмаза до 25 % массы шлама горной породы при снижении экологической нагрузки на окружающую среду за счет снижения расхода веществ первого класса опасности на 83,4 % и второго класса опасности на 12,6 %.

Ключевые слова: алмазный буровой и камнеобрабатывающий инструмент, алмазные порошки, песчаник

В последние годы в мировой практике особое внимание уделяется обеспечению эколого-экономической безопасности государства. Поэтому ресурсосбережение во многих странах мира приобретает статус государственной политики. [1].

Постоянно возрастает спрос на абразивный инструмент, который содержит порошки синтетических алмазов (от высокопрочных шлифпорошков до микропорошков) и способен эффективно разрушать горные породы при геологоразведке, добыче твердых полезных ископаемых и камнеобработке. В процессе работы абразивный слой инструмента изнашивается. На поверхности хрупкого матричного материала, например, WC+Co; NiSn (6 %); Ni (70 %), Cu (20 %), Sn (10 %) в алмазном буровом инструменте образуются повреждения в виде микробороздок. Частицы алмаза, продукты разрушения матричного материала и горной породы образуют шлам [2]. В ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработан спектр ресурсосберегающих технологий переработки продуктов синтеза и изготовления порошков синтетического алмаза. В сравнении с базовыми процессами, технологии имеют преимущества. Применение технологий обеспечивает возрастание извлечения алмаза на 0,3–0,5 %; снижение в 10–12 раз (по массе) расхода веществ I–III класса опасности; исключение залповых выбросов высокотоксичных окислов азота и уменьшение количества отходов, подлежащих захоронению, а также сокращение времени контакта человека с вредными веществами [3, 4]. Однако, невзирая на усовершенствования, в процессе переработки продуктов синтеза алмаза образуются растворы, содержащие кислоты и хлориды тяжелых металлов, а также окислы трех- и

шестивалентного хрома, которые подлежат нейтрализации и обезвреживанию веществами IV класса опасности, а также захоронению твердых отходов [5].

Процессы извлечения алмазного сырья из продуктов синтеза, полученных в различных ростовых системах, и изготовления порошков вносят значительный вклад в стоимость порошков, а также оказывают экологическую нагрузку на окружающую среду.

Поэтому исследования процессов извлечения алмаза из шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента, имеют практическое, экономическое и экологическое значение.

Цель настоящей работы – определение возможности и экологических характеристик извлечения частиц алмаза из шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента.

Методика

Для проведения исследований по извлечению частиц алмаза использовали шлам, полученный при точении керн песчаника Торезского месторождения IX категории буримости цилиндрическим породоразрушающим элементом диаметром 10 мм на специальном стенде [6]. Экспериментальный породоразрушающий элемент был получен методом электроспекания и оснащен алмазами марки AC160T с ионно-плазменным покрытием TiC в матрице NiSn (6 %).

Собранный в результате отработки алмазного инструмента шлам стадийно обрабатывали, удаляя металлосодержащие фазы, входящие в состав горной породы и составляющие матричного материала породоразрушающего элемента, а также провели термохимическое жидкофазное окисление.

Образцы исследовали на различных стадиях обработки. Устанавливали количественное содержание алмаза в шламе, расход химических реактивов для извлечения частиц алмаза и обезвреживания образовавшихся стоков. Элементный состав осадков исследовали микрорентгеноспектральным анализом с помощью электронного сканирующего микроскопа «Zeiss EVO 50 XVP». Морфометрические характеристики продуктов разрушения горной породы и изнашивания породоразрушающего алмазного инструмента устанавливали с помощью микроскопа DiaInspect OSM фирмы VOLLSTADT DIAMANT GmbH.

Результаты и их обсуждение

Результаты СЭМ исследований образцов после растворения металлосодержащих фаз и термохимического жидкофазного окисления приведен на рис. 1, 2.

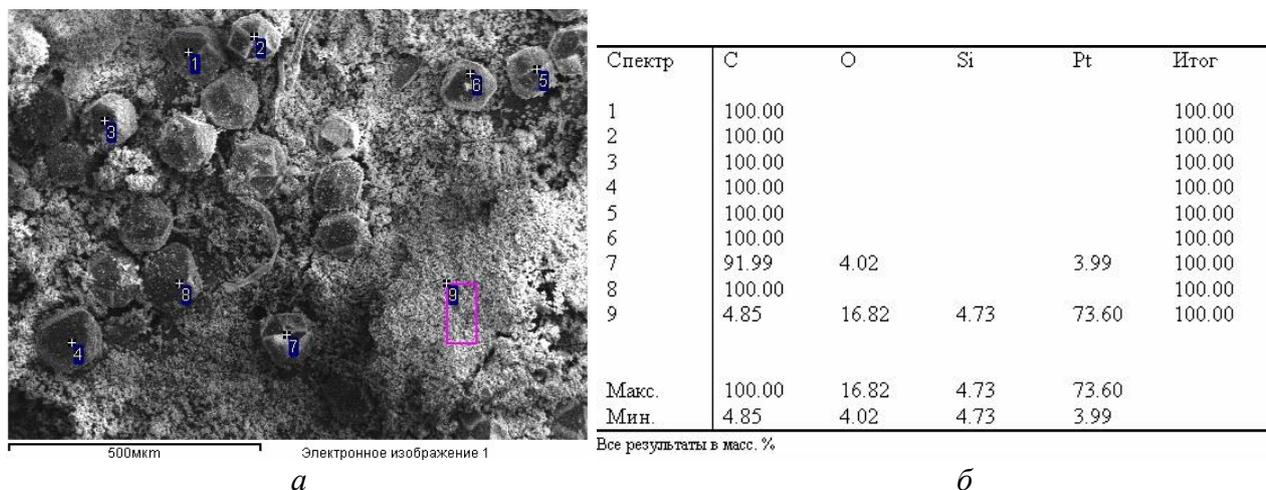
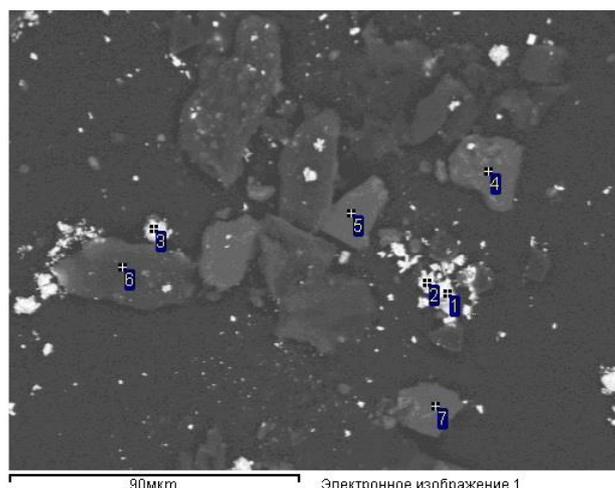


Рис. 1. СЭМ изображение (а) и элементный состав (б) осадка после растворения металлосодержащих фаз



a

Точка	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Pt	Итого
1	16.22	19.83	0.28	0.77	0.15	0.48	0.57	0.23	0.36	1.20	1.17	58.75	100.00
2	8.78	21.65	0.41	0.47	0.00	0.54	0.48	0.11	0.33	0.33	1.29	65.63	100.00
3	9.34	18.01	0.34	0.46	0.00	0.02	0.54	0.09	0.22	0.45	1.41	69.11	100.00
4	6.99	52.77	0.24	0.42	39.29	0.00	0.11	0.05	0.00	0.00	0.08	0.05	100.00
5	12.99	46.96	0.00	0.00	39.56	0.07	0.11	0.00	0.00	0.09	0.23	0.00	100.00
6	67.82	19.00	1.76	0.15	0.26	1.22	6.33	1.71	0.40	0.09	0.46	0.78	100.00
7	24.80	51.45	0.06	0.02	23.41	0.00	0.03	0.01	0.00	0.03	0.13	0.06	100.00
Макс.	67.82	52.77	1.76	0.77	39.56	1.22	6.33	1.71	0.40	1.20	1.41	69.11	
Мин.	6.99	18.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	

Все результаты в масс. %

б

Рис. 2. СЭМ изображение (а) и элементный состав (б) осадка после термохимического жидкофазного окисления

Как видно из рис. 1 *a*, в осадке присутствуют кристаллы (в виде октаэдров и кубооктаэдров). Микрорентгеноспектральный анализ показал, что элементный состав их поверхности представлен только углеродом, рис. 2 *б*.

Из шлама были извлечены частицы алмаза. Их содержание в шламе составило 20–25 масс. %.

В процессе работы определен расход химических реактивов 1-го и 2-го класса опасности для извлечения алмаза из шлама. В результате сравнения с расходом реагентов для извлечения алмазного сырья из продуктов синтеза, который принят за 1 усл. ед./1000 карат, установлено, что расход реактивов при извлечении частиц алмаза из шлама составляет: вещества 1-го класса опасности – 0,16 усл. ед., вещества 2-го класса опасности – 0,87 усл. ед.

Результаты исследования осадка шлама после термохимического жидкофазного окисления показали, что осадок содержит частицы, содержащие кремний до 39 масс. % и кислород 19–47 масс. % (рис. 3 *a*, точки 4, 7).

Предположительно, это частицы оксида кремния (SiO_2), которые являются самостоятельными частицами кварца, отделенными от блока песчаника [7], либо остовы более крупных частиц после термохимического окисления.

В результате морфометрических исследований характеристик частиц осадка шлама после термохимического жидкофазного окисления с помощью микроскопа DiaInspect OSM фирмы VOLLSTADT DIAMANT GmbH установлено, что частицы распределяются в интервале размеров 20–80 мкм.

С использованием отдельных морфометрических характеристик была проведена автоматизированная идентификация формоподобия проекции частиц шлама методом, изложенным в работе [8]. Анализ результатов этого исследования показал, что преобладающее количество частиц – 46,16 % имеет форму треугольника, в то время, как форму прямоугольника имеет 22 % частиц, трапеции – 16,33 %, квадрата – 9,53 %, правильного шестиугольника – 5,46 %, параллелограмма – 0,15, окружности и эллипса – 0,1 %.

Кроме того, эквивалентный диаметр наибольшего количества частиц в пробе соответствует 25 мкм, что согласуется с размером частиц треугольной формы, представленных на рис. 2 а точки 4, 7.

Известно, что кварц имеет твердость по шкале Мооса – 7 [9]. Соответственно, частицы кварца могут существенно влиять на износ алмазосодержащего слоя инструмента, а также на экологические характеристики извлечения частиц алмаза из шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента.

Выводы

1. Определена возможность извлечения частиц алмаза в количестве не более 25 % массы шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента. Качество частиц алмаза, его характеристики, возможность повторного использования предстоит изучить в дальнейшем.

2. Извлечение частиц алмаза из шлама снизит экологическую нагрузку на окружающую среду за счет снижения расхода веществ: первого класса опасности на 83,4 % и второго класса опасности на 12,6 %.

Наведено результати дослідження шламу відпрацювання пісковіку Торезького родовища, що утворюється в процесі роботи алмазного бурового і камнеобробного інструменту. Встановлено можливість вилучення частинок алмазу до 25 % маси шламу гірської породи при зниженні екологічного навантаження на навколишнє середовище за рахунок зниження витрат речовин першого класу небезпеки на 83,4 % і другого класу небезпеки на 12,6 %.

Ключові слова: алмазний буровий і камнеобробний інструмент, алмазні порошки, пісковик

**N. Oliinyk, G. Ilitska, O. Vynohradova, A. Zakora, G. Bazaliy,
A. Maistrenko, V. Tkach, G. Petasyuk**

V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine

RESOURCE-SAVING ISSUES WHEN RECOVERING DIAMOND PARTICLES FROM ROCK SLUDGE, WHICH WAS FORMED DURING THE OPERATION OF THE DIAMOND DRILLING AND STONE-WORKING TOOL

The paper presents the results of the study of waste processing sandstone from the Torez field by diamond drilling and stone-working tools.

The possibility of extracting diamond particles up to 25 % of the mass of sludge from rocks while reducing the burden on the environment by reducing the consumption of substances of the first class of hazard by 83.4 % and the second class of hazard by 12.6 % was established.

Key words: diamond tools for drilling and processing of stone, diamond powders, sandstone

Литература

1. Чердакова М. П. Ресурсосбережение как государственная политика // Вестник Чувашского университета. – 2013. – № 4. – С. 432–435.
2. Исследование возможности повреждения матрицы бурового алмазосодержащего инструмента движущимися частицами шлама / Е. Виноградова, А. Майстренко, Г. Ильницкая, Н. Олейник и др. // Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы XIX Международного научно-технического семинара (18–22 февраля 2019 года, г. Кошице). – Киев: АТМ Украины, 2019. – С.13–16.
3. Богатырева Г. П., Олейник Н. А., Базалий Г. А. и др. Извлечение алмазов из продуктов синтеза // Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах / Под общей ред. Н. В. Новикова. Том 1: Синтез алмаза и подобных материалов / Отв. ред. А.А. Шульженко. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля. ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2003. – С. 298–309.
4. Современные технологии повышения экологической безопасности переработки порошков сверхтвердых материалов / Г. П. Богатырева, Г. Д. Ильницкая, Н. А. Олейник и др. // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 6. – С. 65–69.
5. Гринь Г. И., Семенов Е. А., Козуб П. А. Вопросы ресурсосбережения в производстве синтетических алмазов [Электронный ресурс] – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – С.180–182. – Режим доступа: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/30229/4/Grin_Voprosy_resursosberezheniya_2004.pdf
6. Інтенсивність зношування породоруйнівних елементів з КАМ залежно від хімічного складу та способу нанесення покриттів на алмазні зерна / А. Л. Майстренко, А. П. Загора, Р. С. Шмегера и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2017. – Вып. 20. – С. 469–481.
7. Виноградова О. П. Руйнування гірських порід інструментом з функціональними елементами із композиційних алмазовмісних матеріалів: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.09 – Київ, 2015. – 195 с.
8. Petasyuk G. A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology. – 2014. – V. 264. – P. 78–85.
9. Кварц [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кварц>.
Поступила 23.05.19

References

1. Cherdakova, M. P. (Eds.). (2013). Resursosberezhenie kak gosudarstvennaya politika [Resource Saving as a State Policy]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta – Bulletin of Chuvash University*, 4, 432–435 [in Russian].
2. Vinogradova, Ye., Maystrenko, A., Oliinyk, N., et al. (2019). Issledovanie vozmozhnosti povrezhdeniya matritsy burovogoalmazosoderzhashchego instrumenta dvizhushchimisya chastitsami shlama [Study of the possibility of damage to the diamond-boring diamond-containing tool by moving sludge particles]. *Modern issues of production and repair in industry and transport '19: XIX Mezhdunarodnyi nauchno-tekhnicheskiy seminar (18–22 fevralya 2019 hoda, g. Koshitse)*. – *XIX International Scientific and Technical Seminar*. (pp.13–16). – Kiev: ATM Ukrainy. [in Russian].
3. Bogatyreva, G. P., Oliinyk, N. A., Bazaliy, G.A., et al. (2003). Extraction of diamonds from products of synthesis. *Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie [Superhard*

- materials. Production and use*]. N.V. Novikov (ed.); Kiev ISM im. V.N.Bakulya, IPC «ALKON» NANU. (Vols. 1–6; Vol. 1; pp. 298–309). [in Russian].
4. Bogatyreva, G. P., Ilnitskaya, G. D., Oliinyk N. A., et al. (2009). Sovremennye tekhnologii povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti pererabotki poroshkov sverkhтвердых материалов [Modern Technologies for Enhancing the Environmental Safety of Processing Powders of Superhard Materials]. *Energotekhnologii i resursosberezheniye – Energy Technologies and Resource Saving*, 6, 65–69. [in Russian].
 5. Grin, G. I., Semonov, Ye. A., Kozub, P. A. (2004). Voprosy resursosberezheniya v proizvodstve sinteticheskikhalmazov [Issues of resource saving in the production of synthetic diamonds]. Kharkov: NTU «KHPI», 180–182. Retrived from: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/30229/4/Grin_Voprosy_resursosberezheniya_2004.pdf [in Russian].
 6. Maistrenko, A. L., Zakora, A. P., Shmehera, R. S., et al. (2017). Intensyvnist znoshuvannya porodoruynivnykh elementiv z KAM zalezho vid khimichnoho skladu ta sposobu nanesennya pokryttiv na almazni zerna [The intensity of deterioration of rock-cutting elements with KAM depending on the chemical composition and method of application of coatings on diamond grains]. *Porodorazrushayushchiy i metalloobrabatyvayushchiy instrument – tekhnika i tekhnolohiya eho izhotovleniya i primeneniya [Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Manufacture and applications]*, 20, 469–481 [in Ukrainian].
 7. Vynohradova, O. P. (2009). Ruynuvannya hirskykh porid instrumentom z funktsionalnymy elementamy iz kompozytsiynykhalmazovmisnykh materialiv [Destruction of rocks with a tool with functional elements from composite diamond-containing materials]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 8. Petasyuk G. A. (2014). System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection. *Powder Technology*, 264, 78–85.
 9. Kvartz [Quartz]. Retrived from: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кварц> [in Russian].

УДК 621.923

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-401-406

В. И. Лавриненко, д-р техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины,
ул. Автозаводская, 2, 04074, Киев, e-mail: lavrinenko@ism.kiev.ua*

АЛМАЗНАЯ ОБРАБОТКА КЕРАМИКИ: АСПЕКТ АБРАЗИВНОГО ВЛИЯНИЯ ЧАСТИЦ ШЛАМА

Рассмотрены вопросы алмазной обработки керамик на основе оксидов, карбидов и нитридов в различном сочетании. Показаны особенности шлама, возникающего при шлифовании данных керамик по его форме и размерам. Обращено внимание на компактирование шлама. Показано, что такое компактирование может приводить как к пакетированию шлама на поверхности связки и, как следствие, к засаливанию поверхности алмазного круга, так и к возможному повреждению обработанной поверхности за счет возникновения царапин от частиц компактированного шлама.

Ключевые слова: керамика, оксиды алюминия, карбиды титана и бора, нитриды кремния, шлифование, алмазная обработка, шлам, компактирование, царапины