

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО-НАНОПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ АГРЕГАТОВ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Петровский В.А.¹, Сухарев А.Е.¹, Филоненко В.П.², Виноградов С.Н.³

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, petrovsky@geo.komisc.ru

²Институт Физики Высоких Давлений РАН, Троицк

³ООО «Новые алмазные технологии», Санкт-Петербург

Отдельные индивиды природных микрополикристаллических алмазных агрегатов (карбонадо, баллас) имеют уникальную скрытокристаллическую структуру и ультрамелкое зерно, обеспечивающее их высочайшую твердость и износостойкость, связанную не только с малыми размерами слагающих их кристаллитов, но и их специфическим взаимопроращением в ходе кристаллизации [1–3]. Разработанная в ИФВД РАН базовая технология синтеза синтетических карбонадо из цельных заготовок графита не позволяет приблизить их физико-механические характеристики к лучшим природным образцам. Основные недостатки синтетических карбонадоподобных микрополикристаллов – низкая температурная стойкость из-за наличия прослоек металла между алмазными зёрнами, крупнозернистая дефектная структура приповерхностной зоны и связанная с этим нестабильность эксплуатационных характеристик. На основе сравнительного анализа особенностей микроструктуры природных образцов с искусственными аналогами были внесены коррективы в методику синтеза. Был проведен цикл экспериментов по кристаллизации «карбонадо» из высокоплотного графита и пирографита в схеме направленного роста от поверхности графитовой заготовки к центру при минимальном содержании растворителя-катализатора. Изучены особенности микроструктуры нового карбонадоподобного агрегата, установлено существенное измельчение зёрен, появление наноразмерных элементов и повышение однородности структуры во всем объеме образцов.

Некоторые особенности структуры микрополикристаллических алмазов. В природе более вероятен процесс образования микрополикристаллических алмазов, при котором углеродный материал снаружи окружен средой, обладающей каталитической активностью*. При синтезе «карбонадо» в таком варианте можно более наглядно разделить влияние различных факторов на микроструктуру, поскольку рост кристаллов в начальный момент будет определяться термобарическими параметрами, характеристиками графита и РК. В этом случае внешняя форма образующихся алмазных агрегатов будет совпадать с исходной графитовой заготовкой и их можно определять как **карбонадо заданной формы (КЗФ)**.

Синтез «балласов» и «карбонадо» начинается после плавления РК, причем эта температура плавления растет с давлением гораздо медленнее по сравнению с положением линии равновесия графит-алмаз. При рассмотрении термодинамических аспектов синтеза [4] было использовано понятие «переохлаждение» [5], отражающее удаление термобарических параметров синтеза от линии равновесия.

Удаленность от линии равновесия графит-алмаз определяет размер критического зародыша алмазной фазы и структуру самого микрополикристалла. Для оценки можно ограничиться простейшей моделью сферического зародыша, в которой радиус r и энергия δG критического зародыша имеют вид:

$$r^* = 2\sigma V_a (G_r - G_a)^{-1},$$

где V_a – объем моля алмаза, σ – удельная поверхностная энергия на границе графит-алмаз ($\sigma \approx 1-10$ Дж/м² [6]), $-\Delta G = G_r - G_a$ – мольная разность свободных энергий Гиббса графита и алмаза.

При условии постоянства σ соотношение радиусов критического зародыша при различных давлениях будет определяться только разностью свободных энергий графита и алмаза. Проведенные оценки соотношений размеров критического зародыша алмаза дают следующие значения, которые соответствуют полученным экспериментальным результатам: $r^*(p=6,0)/r^*(p=8,0) \approx 3,7$; $r^*(p=6,0)/r^*(p=12,0) \approx 8,7$.

При давлениях 6,0÷6,5 ГПа образуются «балласы». «Переохлаждение» в этом случае составляет 100÷250 К при движущей силе процесса $-\Delta G \approx 0,3-0,7$ кДж/моль. На изломе балласов в областях, близких к РК алмазные зёрна хорошо различимы и их размеры находятся в пределах 10—20 мкм. Похожие размеры имеют и частицы алмаза, внедренные в РК. При большом увеличении можно видеть, что они выглядят как монокристаллы с хорошо сформированными гранями. Средний размер внедренных в РК зёрен, рассчитанный по 50-ти частицам, составил 12 мкм. Поскольку эти алмазные зёрна образовались в начальный момент синтеза, то логично допустить, что радиус критического зародыша при давлении ~ 6,0 ГПа составляет около 5 мкм.

При давлениях 7,5÷8,5 ГПа образуются поликристаллы «карбонадо». «Переохлаждение» при таких давлениях составляет 500-800 К, а движущая сила процесса – 2,0÷3,5 кДж/моль. Размеры алмазных зёрен составляют ~1 мкм и это характеризует размеры критического зародыша при давлении около 8 ГПа.

* Используемые металлы и сплавы группы железа (никель, хром, кобальт) по характеру воздействия являются катализаторами, но хорошо растворяют графит, поэтому в дальнейшем изложении материала для них будет употребляться термин **растворителей-катализаторов (РК)**.

Сравнение структур проводилось у границы микрополикристаллов с РК, поскольку корректно оценить термобарические условия синтеза можно именно для начального момента. Быстрый фазовый переход графита в алмаз приводит к уменьшению давления в рабочем объеме ячейки и повышению температуры, поэтому при традиционной сборке ячейки размеры кристаллитов у периферии алмазных агрегатов выше, чем вблизи границы с РК. Существенные структурные различия в объеме синтезированных в присутствии РК микрополикристаллических агрегатов определяются не только изменением термобарических условий, но и влиянием самого РК, приводящего к реализации направленного роста алмазных зерен. *До настоящего времени практически все аспекты синтеза, связанные с характеристиками исходных углеродных материалов и растворителей-катализаторов остаются дискуссионными. Поэтому углубление знаний в этом направлении является весьма актуальным.*

Характерной особенностью микроструктуры природных и синтетических алмазных поликристаллических образований типа карбонадо является взаимное прорастание зерен при достаточно малых их размерах и высокой плотности дефектов. Анализ шлифов микрокристаллических алмазных агрегатов из Якутии и образцов, синтезированных в диапазоне давлений от 6 до 12 ГПа из графита при использовании растворителей-катализаторов показал, что по размерам, плотности, характеру распределения включений и пор изученные природные образцы соответствуют диапазону давлений их формирования не ниже 9 ГПа (рис. 1).

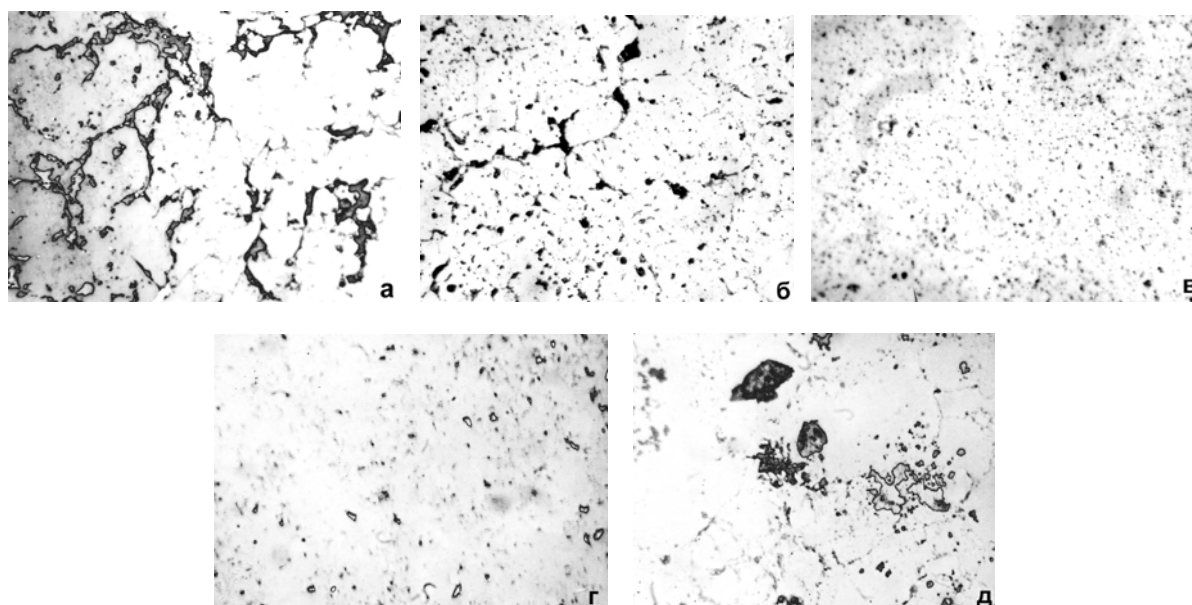


Рис. 1. Микроструктура шлифов синтетических и природных карбонадо: а – синтез при 6 ГПа; б – синтез при 9 ГПа; в – синтез при 14 ГПа; г, д – природные карбонадо

Растворители-катализаторы, используемые при синтезе алмазных микрополикристаллических агрегатов, играют очень важную роль. Они в большой степени определяют термобарические параметры начала фазового перехода графита в алмаз и кинетику кристаллизации. Количество металлической фазы, остающейся в объеме алмазного агрегата, как правило, не превышает 5% по объему. При относительно низком давлении синтеза прослойки металлсодержащей фазы являются достаточно широкими и могут пронизывать весь объем микрополикристалла. Повышение давления ведет к измельчению его структуры, в которой основная масса включений РК является относительно равноосной и изолированной друг от друга.

Важную информацию о характере внедрения и распределения металлсодержащей фазы в объеме синтетических «карбонадо» удалось получить при помощи рентгеновского компьютерного микротомографа [7]. Сравнительный анализ схем внутреннего и внешнего расположения РК по отношению к графитовой заготовке показал принципиальные различия в распределении металлсодержащей фазы по объему алмазных агрегатов. Данная методика позволила определить области высокой концентрации металлической компоненты. При расположении стержня РК внутри графитовой заготовки, его диаметр после синтеза увеличивается, а в алмазный агрегат заходят «языки» металлсодержащей фазы. В остальной части карбонадо распределение металла является равномерным и его количество не превышает нескольких процентов. Анализ кривой изменения электросопротивления сборки при синтезе показывает, что от момента плавления стержня РК (резкое замедление в снижении сопротивления) до фазового перехода графит-алмаз (быстрый рост сопротивления) проходит 2-3 секунды. За время такого инкубационного периода РК растворяет окружающий графит, увеличивая свои размеры и проникая в графитовую заготовку. После начала синтеза жидкий фронт металл-углеродного расплава проходит через графит, формируя микроструктуру алмазного агрегата. При малых исходных размерах графитовой заготовки избыток металла может концентрироваться на поверхности карбонадо.

При размещении РК снаружи графитовой заготовки происходит формирование однородной алмазной оболочки и концентрация металла в центральной части. Следует отметить, что в рассматриваемом эксперименте графитовую заготовку окружала металлокерамическая смесь с содержанием РК около 10%, а нагрев осуществляли импульсным вводом большой мощности. При этом давление локализует металлическую компоненту в центре реакционной камеры. Рассмотренные примеры показывают возможности экспериментального моделирования принципиально различных условий синтеза и эффективность использования компьютерной томографии для анализа внутренней структуры алмазных агрегатов без их разрушения.

В подавляющем большинстве природных образцов карбонадо металлосодержащие фазы являются оксидными, но это может быть отражением процессов посткристаллизационного периода. Тем не менее, удастся обнаружить и металлические фазы, представленные пленками на поверхности алмазных индивидов или выделениями в интерстициях и ксеноминеральной массе, заполняющей каверны, а также, находящиеся внутри алмазных индивидов [1]. Их размеры находятся в диапазоне от субмикронных до десятков мкм. По составу среди самородных фаз преобладают металлические твердые растворы на основе железа (частота встречаемости 30%), меди (18%), никеля и хрома (11%). Большой интерес представляют собой смеси кристаллохимически некогерентных металлов – Fe, Cr, V, Cu, Mo, W. Ассоциацию именно таких металлических включений в алмазах иногда называют "метеоритным парагенезисом", предполагая мантийное происхождение соответствующих фаз [8]. Металлические включения в карбонадо, хотя и являются вполне кристаллическими [9, 10], тем не менее, характеризуются значительной неупорядоченностью по составу. Обнаружение таких металлических фаз в природных микрополикристаллических агрегатах алмаза, вероятно, указывает на высокобарические условия минералообразования, при которых происходило сближение металлов по кристаллохимическим свойствам и значительное расширение полей их взаимного растворения [11]. Следовательно, по меньшей мере, часть выявленных на сегодняшний день в карбонадо самороднометаллических минералов может быть сингенетичной алмазной фазе (рис. 2) [1, 9].

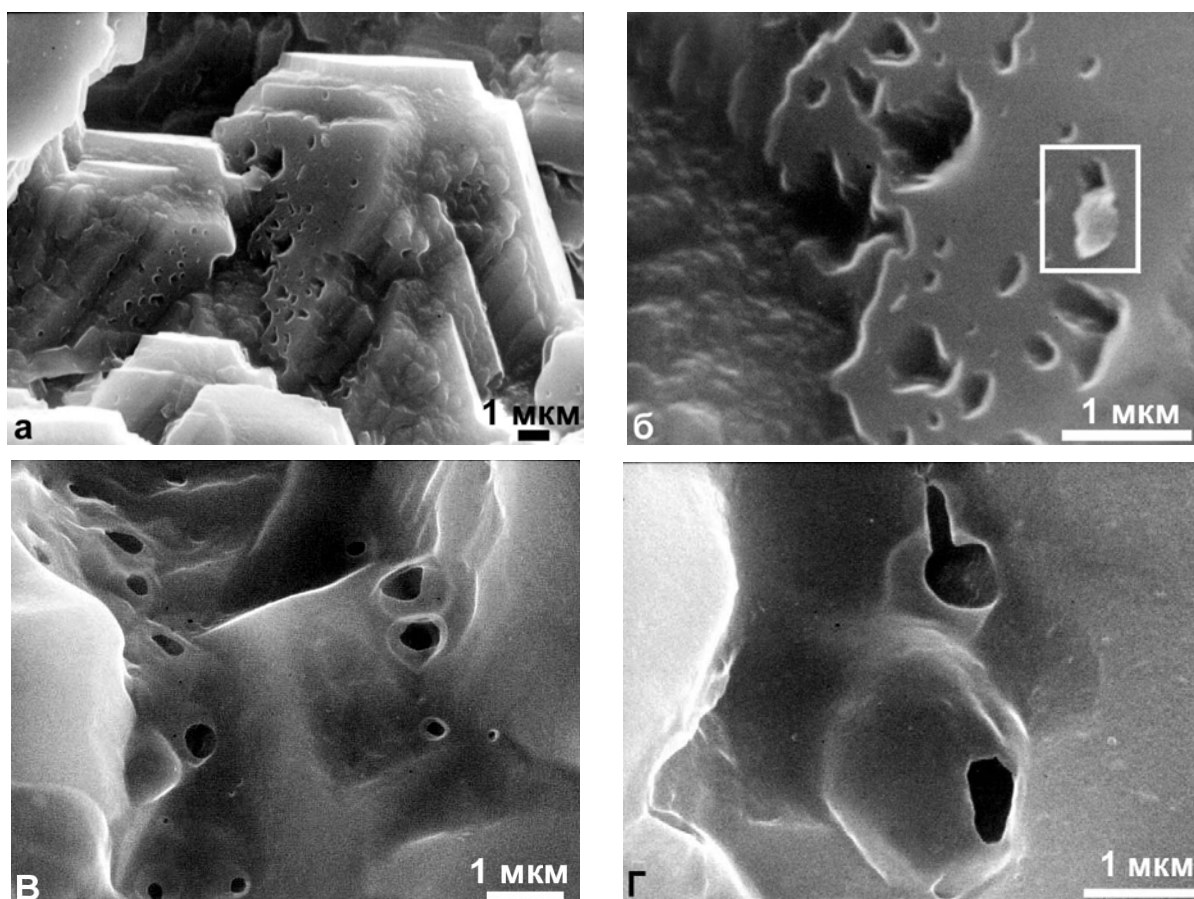


Рис. 2. Сингенетические включения в природном карбонадо (обр. MGC12/3): а – общий вид; б – деталь (выделенный фрагмент – в результате воздействия электронного пучка изолированное включение в алмазной матрице локально нагревается, при этом резко повышается давление в вакуоли, происходит его декрипитация с выбросом содержимого: Si – 2.34, Cl – 3.86, Ca – 26.76, Ti – 0.66, Cr – 13.34, O – 52.93 %, а газовая фаза, соответственно, выделилась в вакуум). По аналогии, происходит декрипитация газовых включений (в, г)

С целью изучения и сопоставления с природными образцами сколы «карбонадо», синтезированного в металл-углеродной системе, подвергались химическому травлению [12]. Под слоем вытравленного металла

обнажились полости с кристаллитами и каналами (отверстиями) от включений металлической фазы. Наблюдались такие же места «зубчатого» контакта металла и алмазного кристаллита (поверхности совместного роста) как на сколах природного карбонадо. В матрице алмазных кристаллитов синтетического карбонадо обнаруживаются и пустоты (поры), до травления заполнявшиеся металлом, похожие на природные образцы [13]. Таким образом, морфолого-анатомическое строение синтетических алмазных агрегатов оказывается информативным для понимания некоторых особенностей природных карбонадоподобных агрегатов.

Разработка технологий синтеза монокристаллов, различных композитных материалов на основе микро- наноалмазного сырья Попигайской астроблемы. Поиски и выявление новых источников алмазного сырья являются одним из приоритетных направлений изучения земных недр. Последние десятилетия ознаменовались не только открытием новых провинций алмазоносных кимберлитов и близких к ним пород в разных регионах мира, но и выявлением ранее неизвестных в мировой практике генетических типов алмазосодержащих коренных пород. К их числу относятся и впервые установленные в начале 70-х годов на севере Сибирской платформы импактиты, образовавшиеся за счет переплавления кристаллических пород при ударе космического тела [14]. Импактиты залегают здесь в пределах Попигайской астроблемы – древнего импактного кратера диаметром около 100 км, возникшего 35,7 млн. лет тому назад (в конце эоцена). Содержащиеся в импактитах поликристаллические алмазы являются результатом преобразования графита исходных гнейсов при ударном сжатии. Геологические, петрографо-минералогические, геохимические и другие исследования позволили дать достаточно полную характеристику импактитов, а также охарактеризовать заключенные в них импактные алмазы, условия возникновения которых существенно отличны от таковых для алмазов иного происхождения [15, 16].

Ресурсы импактных алмазов, заключенные в коренных породах Попигайской структуры, в целом превышают таковые всех известных в мире алмазоносных провинций, здесь выявлены также и россыпи микрополикристаллических алмазов. **Импактные алмазы в импактитах являются сингенетическими образованиями, так как возникают непосредственно в процессе формирования кратера и трансформации вещества мишени. Они принадлежат к новому ранее неизвестному типу технического алмазного сырья, опыт промышленного освоения месторождений которого, так же как и индустриального использования, пока отсутствует. Степень изученности импактных алмазов, их внутреннего строения и специфических свойств еще далеко недостаточна и значительно уступает в этом отношении изученности алмазов из кимберлитов. Не исключено, что такие исследования могут в дальнейшем выявить и некоторые новые особенности этих форм углерода, важные как для понимания условий их возникновения, так и для расширения областей возможного применения.** С целью технического и научно-прикладного применения природных микро- нанополикристаллических алмазов авторы данного сообщения считают целесообразным проведение комплексных исследований по данной проблеме. Проект предлагается реализовать в три этапа: 1) поисково-эвристический; 2) собственно НИОКР; 3) опытно-производственный [17].

Первый этап (поисково-эвристический). Из месторождения природного алмазного сырья используется материал для экспериментов и проведения серии опытов. Требуется: пробы первичной алмазной руды (в различном состоянии); флото-концентрат, производимый из той же самой пробы первичной алмазоносной руды; продукт термохимического разложения того же самого флотоконцентрата, полученного за счет той же самой первичной алмазной руды.

После создания материальной базы в рамках первого этапа предполагается сначала разделить термохимический продукт на алмазы и графит, а затем алмазную часть подразделить на несколько гранулометрических фракций. Потом будет проведена серия последовательных опытов получения монокристаллов путем кристаллизации на затравки из металлического расплава, в котором растворены (1) первичная алмазоносная руда; (2) флотоконцентрат; (3) различные гранулометрические фракции алмазов и графит, выделенные из флотоконцентрата.

После получения данных на **втором этапе (НИОКР) реализации** инновационного проекта может быть выбран наиболее оптимальный вариант использования сырья, разработана научно-техническая схема получения качественных монокристаллов, определены способы управления их свойствами на основе варьирования составом и концентрацией примесей, степенью пересыщения, скоростью кристаллизации.

Следует подчеркнуть, что многие детали технологии получения монокристаллов на основе идей авторов Проекта еще не имеют научно-технических решений.

Этап третий. Технология и промышленное производство.

1. Непосредственное использование природных и синтетических микро-наноразмерных порошков алмаза узких фракций и высокой степени очистки в медицине и технике. Необходимы высокоскоростные центрифуги (проект авторов, изготовление и технология) и аппараты для термохимической очистки под давлением (приобретение недостающего оборудования, доработка и технология авторов).

2. High pressure high temperature (HPHT) и low pressure high temperature (LPHT) синтеза не имеющие природных аналогов (высокочистых, моноизотопных, р и п типа полупроводниковых, легированных, сверхпроводящих) крупных до 15-20 карат монокристаллов алмаза с контролируемым содержанием примесей и совершенной кристаллической структурой с использованием природных наноалмаза и нанографита в качестве источника для использования в электронной и других высокотехнологичных отраслях промышленности.

HPHT и LPHT синтез монокристаллов будет производиться на усовершенствованных прессах типа разрезная сфера собственной конструкции и производства с использованием специальных собственных

керамических технологий подготовки и изготовления технологических ячеек высокого давления с последующей высокоточной лазерной резкой полученных монокристаллов по заданным направлениям, термохимическим полированием и доращиванием на усовершенствованных CVD установках.

По результатам комплексной технологии предполагается получить пластины синтетических монокристаллов диаметром до 75 мм, чистотой до 99,999% и прецизионно легированные необходимыми примесями, включая моноизотопные для лазерных окон с полосой пропускания от 225 нм до 100 мкм (для лазеров и аппаратов генерации сверхвысоких давлений), теплоотводов (с теплопроводностью 1600÷2000 Вт·м/град), для элементов пассивной и активной электроники: лавинопролетных диодов, датчиков ультрафиолетового излучения и радиации (для работы при температурах до 700⁰К), терморезисторов и безинерционных нагревательных элементов (температурный диапазон 4÷700⁰К).

3. НРНТ и ЛРНТ синтез композиционных материалов диаметром до 100 мм на основе природного и синтетического наноалмаза с рекордными механическими и высокими теплоотводящими свойствами для использования в качестве конструкционных материалов, инструмента для механической обработки труднообрабатываемых материалов и добыче полезных ископаемых и в электронике в качестве теплоотводов.

Синтез монокристаллов будет производиться на усовершенствованных прессах с камерой высокого давления собственной конструкции с использованием специальных источников питания и методов дегазации.

4. Изготовление отрезного и шлифовального инструмента на связке из пиролитического углерода с рекордными свойствами на основе природных и синтетических наноалмазов для использования в обработке алмаза, строительстве и камнеобработке.

Разработка нового алмазного инструментального материала – термостойкий карбонадо с ультрамелким зерном. На основании сравнительного анализа микроструктуры и некоторых характеристик природных образцов поликристаллических алмазов карбонадо (рис. 3) и синтетических «карбонадо» (рис. 4), полученных по традиционной технологии синтеза с использованием объемных металлических катализаторов, размещаемых внутри графитовой заготовки, определены основные направления работы для принципиального улучшения комплекса физико-механических и эксплуатационных характеристик синтетических карбонадо. Основные недостатки синтетических микрополикристаллов карбонадо – низкая температурная стойкость из-за наличия прослоек металла между алмазными зёрнами, крупнозернистая дефектная структура приповерхностной зоны карбонадо и связанная с этим нестабильность эксплуатационных характеристик, в частности невозможность использования в массовом выпуске режущего инструмента.

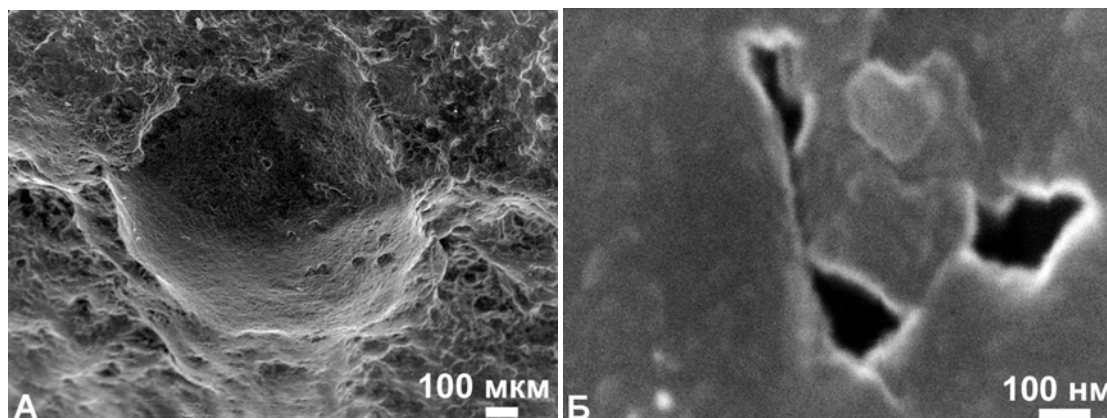


Рис. 3. Природный микрополикристаллический алмазный агрегат. А – кристаллит алмаза в афонитовой матрице карбонадо и его наноблочное строение (Б)

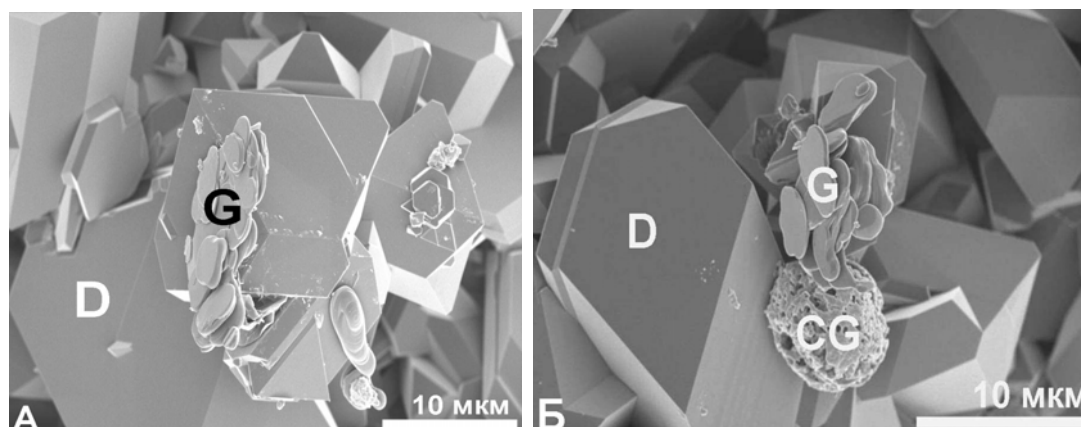


Рис. 4. Микрофотография образца, полученного из нафталина при 8 ГПа и 1280⁰С: D – алмаз, G – графит, CG – глобула, составленная наноразмерными зёрнами углерода

Нами проведен цикл экспериментов по сравнительному синтезу карбонадо из высокоплотного графита и пирографита в схеме направленного роста от поверхности к центру при минимальном содержании металл-катализатора в среде, окружающей графитовую заготовку. Изучены особенности микроструктуры нового карбонадо, установлено существенное измельчение зерен и повышение однородности структуры во всем объеме образцов.

В 2010-2011 годах проводится оптимизация схем и параметров синтеза с параллельным анализом микро и наноструктуры «карбонадо», и исследуется ее влияние на упругие модули и эксплуатационные свойства образцов, опробуется синтез при полном отсутствии металла, исследуется термостойкость микрополикристаллов. Изготовлены и всесторонне испытаны резцы по обработке твердого сплава и оксидной керамики в сравнении с лучшими материалами ведущих мировых корпораций. Новый поликристаллический алмаз имеет износостойкость на уровне монокристалла, выгодно отличаясь от него изотропностью свойств, что имеет решающее значение при обработке рабочего профиля инструмента и равномерности его износа в ходе эксплуатации. Минимизация или полный отказ от металлической составляющей в катализаторе позволяет приблизить термостойкость синтетического карбонадо к природному и за счет этого расширить область его использования, например, для оснащения буровых коронок.

Работа выполнена при частичной поддержке программы Президиума РАН № 27 (09-Р-5-1028) и ОНЗ РАН (09-С-5-1022).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сухарев А.Е., Петровский В.А.* Минералогия карбонадо и экспериментальные модели их образования. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 196 с.
2. *Петровский В.А., Филоненко В.П., Сухарев А.Е.* Экспериментальное моделирование карбонадоподобных агрегатов в флюидизированных системах // Высокие технологии в промышленности России: Материалы XV Международной научно-технической конференции. Москва: изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. С. 352-369.
3. *Петровский В.А., Филоненко В.П., Сухарев А.Е.* Алмазоподобные модификации нитрида бора – различные модели формирования карбонадоподобных микрокристаллов // Высокие технологии в промышленности России: Материалы XVI Международной научно-технической конференции. Москва: ОАО «ЦНИТИ «Техномаш», 2010. С. 305-313.
4. Синтетические алмазные поликристаллы баллас и карбонадо: термодинамические условия образования и структура / *Яковлев Е.П., Филоненко В.П., Боровиков Н.Ф. и др.* // Сверхтвердые материалы. №6. 2001. С. 9-19.
5. Физико–химические условия генезиса карбонадо по природным и экспериментальным данным / *Петровский В.А., Яковлев Е.Н., Филоненко В.П., Мартинс М. и др.* // Молекулярная биология, химия и физика гетерогенных систем: Материалы 7-й Междунар. научн. конф. Москва–Плес, 2003. С.233–238.
6. *Самойлович М.И., Санжарлинский Н.Г., Заднепровский Б.И.* Физико–химические параметры и их роль в процессе кристаллизации алмаза в системе расплав металла–углерод // Синтез минералов. Т.3. Александров: ВНИИСИМС, 2000. С. 45-74.
7. *Яковлев Е.Н., Антанович А.А., Козорезов Е.В., Самородский П.Н.* Использование рентгеновского компьютерного микротомографа для исследования распределения металла-катализатора в поликристаллах алмаза, выращенных из графита // Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение: Труды IV Международной конференции. Т. 2. Александров: ВНИИСИМС, 1999. С. 500-509.
8. *Shoji A.* Iron Meteorite Paragenesis a New Group of Mineral Inclusions in Diamond. *News Mineral. Monatsh.*, 1986. Н.10. Р. 463–466.
9. Первые находки самородных металлов. Cr, Ni и α -Fe в карбонадо из алмазных месторождений Якутии / *Горшков А.И., Титков С.В., Сивцов А.В. и др.* // Геохимия. 1995. №4. С. 588–591.
10. *Горшков А.И., Титков С.В., Плеваков М.А.* Включения самородных металлов и других минеральных фаз в карбонадо из области Убанги (Центральная Африка) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 2. С. 131–136.
11. *Щербина В.В.* Об изменении химических свойств элементов при высоких давлениях. Доклады АН СССР. 1986. Т. 173. С. 1164–1165.
12. К проблеме генезиса карбонадо / *Петровский В.А., Яковлев Е.Н., Филоненко В.П. и др.* // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2004. № 3. С. 9–15.
13. Поликристаллические алмазные образования из россыпей реки Макаубас (Бразилия) / *Петровский В.А., Мартинс М., Каблис Г.Н. и др.* // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2003. №9. С. 2–6.
14. *Масайтис В.Л., Михайлов М.В., Силивановская Т.В.* Попигайский метеоритный кратер. М.: Наука, 1975. 124 с.
15. *Масайтис В.Л., Мащак М.С., Райхлин А.Н.* Алмазоносные импактиты Попигайской астроблемы СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 179 с.
16. *Вишневецкий С.А., Афанасьев В.П., Аргунов К.П., Пальчик Н.А.* Импактные алмазы: их особенности,

происхождение и значение. Новосибирск: изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. 53 с.

17. Разработка технологий синтеза монокристаллов, различных композитных материалов и устройств для медико-экологических и технических целей на основе микро- наноалмазного сырья Попигайской астроблемы / *Петровский В.А., Виноградов С.Н., Колядин А.В. и др.* // Геоматериалы для высоких технологий, алмазы, благородные металлы, самоцветы Тимано-Североуральского региона: Материалы Всероссийского минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 26-27.

ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Шеков В.А., Иванов А.А., Мясникова О.В.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Процесс разрушения горных пород является многостадийным явлением и начинается он на самой ранней стадии формирования горного массива.

Этим положением и определяется тот факт, что все методы изучения горных пород, как правило, относятся к феноменологическим (опытным, экспериментальным), то есть основанным на испытании породы на соответствие определенным требованиям технологического процесса.

Для одних горных пород конечным элементом является частица, до которой необходимо измельчить исходные образцы, для других горных пород конечным элементом является большая поверхность, которую необходимо сохранить.

Объединяющим для всех горных пород является факт, что горные породы нельзя идеализировать, как это делается в механике или физике твердого тела, потому что изначально в них имеется набор дефектов, определяющих их конкретные свойства и дальнейшее поведение. К сожалению, во многих случаях отсутствует корреляция между будущим поведением горной породы при получении конечного продукта и в процессе его эксплуатации.

Одним из фундаментальных понятий для любого материала является его долговечность. То есть время, в течение которого он «сопротивляется» оказываемым на него физическим нагрузкам.

К основным видам воздействия на камень можно отнести следующие:

1. Циклические

- замораживание - оттаивание
- нагревание – охлаждение;
- циклическое нагружение - разгрузка
- попеременное воздействие химическими «полями»

2. Динамические

- абразивный износ
- концентрированный удар (ударная волна)

3. Статические

- воздействие постоянной нагрузки в течение длительного времени

Все указанные воздействия обусловлены тектонофизическими процессами, происходящими в массивах горных пород. Рассмотрение отдельных аспектов поведения горной породы при тех или иных воздействиях может дать возможность получить картину эволюции сформировавшегося массива в процессе его тектонической переработки, понять механизм его разрушения и пригодность для дальнейшего использования его отдельных частей.

С прикладной точки зрения результатом такого воздействия становится разрушение облицовочного камня, то есть потеря его «внешнего» вида. Разрушение выражается в виде появления на поверхности абразивных воронок, устранения полировки с поверхности, появление множества видимых макротрещин и излом плиты (появление магистральной трещины на поверхности облицовочного камня).

В таких условиях достаточно трудно найти единый показатель, способный характеризовать долговечность природного камня и учесть всевозможные виды воздействий на него. Если определить долговечность облицовочного камня как способность сохранять привлекательный внешний вид в течение определенного времени, то понятно, что в условиях абразивного износа (облицовка пола) потеря внешнего вида наступит значительно раньше, чем в условиях, когда тот же камень используется для внутренней облицовки стен, а механизм разрушения мрамора будет в значительной степени отличаться от подобного поведения гранитов.

Оценка изменения прочностных свойств в результате наведения трещиноватости при различных физических воздействиях, выбор оптимального метода дезинтеграции и оценка соответствия минерального сырья каждого месторождения существующим требованиям является причиной развития представлений о качестве материала с позиций его прочности и механизмах его разрушения. Возможности существующих подходов к прогнозу прочностных характеристик горных пород как минерального сырья ограничены по видам