

УДК 608.3

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ШАРОВОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА, ПОЛУЧЕННОГО
С ПОМОЩЬЮ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Бурлуцкий Д.С., Калеева Ж.Г.

ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: jkaleeva@yandex.ru

В работе описаны результаты исследования явления возникновения шарового электрического разряда под действием микроволнового излучения на металлических и графитовых стержнях, а также влияние этого разряда на изменение физико-химических свойств различных материалов.

Ключевые слова: микроволновое излучение, СВЧ-излучение, шаровой разряд, изменение свойств материалов

**FLUCTUATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF STUFFS AS A RESULT
OF THE EXPERIMENTAL EFFECT OF THE SPHERICAL ELECTRIC DISCHARGE RECEIVED
BY MEANS OF MICROWAVE RADIANCE**

Burlutskij D.S., Kaleeva Z.G.

The Orenburg state university, Orenburg, e-mail: jkaleeva@yandex.ru

Changing the physical properties of materials experimental impact ball electric discharge, obtained through microwave. Burlutsky Dmitry, Kaleeva Jeanne. This paper describes a study of the phenomenon of ball electric discharge under the action of microwave radiation on metal and graphite shaft, as well as the impact of this discharge to changes in physical properties of various materials.

Keywords: microwave, microwave – radiation level ball, change the properties of materials

Перспективным направлением научно-технического исследования является не только проблема оценки качества обеспечения стабильности прочностных характеристик материалов, но и исследование влияния условий микроволнового излучения на изменение их физических свойств. «СВЧ энергетика – приобретает все большее практическое использование в ряду энергосберегающих технологий. При воздействии СВЧ поля на материалы с низкой электро- и теплопроводностью, к которым относятся большинство оксидных материалов, происходит поглощение электромагнитной энергии всем объемом материала, а максимальный эффект наблюдается на границах сред с разными электродинамическими характеристиками, что невозможно при нагреве внешними источниками тепла» [3, С. 8].

Целью проведенного опытно-экспериментального исследования было:

- изучение явления возникновения шарового электрического разряда под действием СВЧ-излучения на металлических и графитовых стержнях;
- оценка изменения структуры вещества исследуемых материалов под действием тепловых эффектов, реализующихся при

взаимодействии шарового разряда, возникающего в электромагнитном поле СВЧ микроволнового диапазона с опытно-экспериментальными образцами;

– определение параметров технико-экспериментальных операций и процесса изменения структуры опытных образцов и оценка перспектив возможности синтеза материалов с заданными физическими свойствами.

Научная новизна представленного опытно-экспериментального исследования заключается в том, что

- выявлены закономерности процесса образования шарового разряда под действием микроволнового излучения на металлических и графитовых стержнях;
- определены особенности поведения полученного шарового разряда при его взаимодействии с веществом;
- определен спектральный состав полученного шарового газового разряда;
- зафиксированы факты изменения структуры и свойств материалов при взаимодействии с полученным шаровым разрядом.

Практическая ценность проведенного исследования заключается в следующем:

– описаны закономерности и параметры реализации функционально-организационного процесса взаимодействия шарового разряда с экспериментальными материалами (вольфрам, чугун, гранит, древесная смола, перенасыщенный раствор NaOH, порошкообразные смеси различного химического состава);

– произведена фиксация трансформации структуры порошкообразных материалов за счет развития процесса контактного плавления, описана техника выполнения процесса высокотемпературного спекания порошкообразных материалов в процессе контакта с шаровым разрядом;

– дано общее описание изменения физико-технических показателей свойств и структуры экспериментальных материалов микроволнового плазмотермического синтеза, связанного с воздействием шарового разряда;

– высказаны предположения о прикладных аспектах использования шарового разряда, возникающего в процессе микроволнового нагрева графитных и металлических стержней в целях разработки новых материалов с заданными параметрами и свойствами, а также для повышения эксплуатационных характеристик изделий.

В экспериментальной работе использовались следующие методы исследования: эксперимент, моделирование, сравнительный анализ, аналогия, а также такие приборы, как микроскоп, электроскоп, спектроскоп. Точность и достоверность результатов экспериментов, как по получению разряда, так и по определению влияния разряда на физические свойства различных материалов достигалась за счет достаточного количества (6–10) опытов по каждому выбранному направлению.

Идеей для постановки эксперимента послужили опыты, заключающиеся в том, что при помещении в камеру сверхвысокочастотного излучения горячей зубочистки, воткнутой в пробку, от пламени горячей зубочистки отлетало множество кратковременных искр, вспышек. Логика дальнейшего развития опытно-экспериментальной идеи привела к установлению умозаключения, что появление наблюдаемых эффектов не связано с возможностью воздействия

СВЧ-излучения ни на пламя, ни на опытный образец (зубочистку), являющийся диэлектриком. Однако углеродсодержащий пепел от горящего дерева, из которого была изготовлена зубочистка, является отличным проводником, способным взаимодействовать с СВЧ-излучением. Замена зубочистки на графитовый стержень диаметром 0,5 мм (в качестве безопасности накрытого химическим стаканом) привела к тому, что при установлении максимальной мощности микроволновой печи на конце графитового стержня появился яркий шаровой разряд диаметром порядка 1 см и стал увеличиваться в размерах. При этом образование разряда сопровождалось звуками потрескивания, жужжания, характерного для некоторых ламп дневного света. Образовавшийся на кончике графитового стержня шаровой разряд быстро увеличился в объеме до примерных визуальных размеров куриного яйца (~5 см), отделился от кончика графитного стержня, и, поднявшись до самого верха химического стакана, начал самостоятельное автономное существование. При этом сам графитовый стержень докрасна раскалился, а основание пробки обуглилось, появился едкий запах озона. Поверхность химического стакана также нагрелась таким образом, что вода при попадании на неё, испарялась в течение нескольких секунд. Образование и отделение шарового газового разряда под действием электромагнитного излучения микроволновой печи заняло 5–7 секунд.

В целях доказательства того, что полученный плазмод является шаровым электрическим разрядом в газе, и определения наличия у него электрического заряда, был использован лабораторный электроскоп. Для этого на дне химического стакана (в котором образовывался шаровой разряд) была закреплена латунная сетка, вырезанная в форме круга диаметром 7 см и соединённая металлическим проводом с электроскопом. Сбор статистических данных по определению заряда шарового разряда, позволил сделать вывод, что в каждом из восьми проведенных опытов в момент соприкосновения шарового разряда с латунной сеткой электроскоп показывал наличие электрического заряда.

В случае горизонтального расположения графитового стержня образование шарового разряда не наблюдалось. Это подтверждает гипотезу экспериментаторов, базирующуюся на том, что графитовый стержень выполняет функцию антенны, по поглощению сверхвысокочастотного электромагнитного излучения магнетрона, конвертируя его в шаровой электрический разряд. При сохранении вертикального положения и замены материала «антенны», поглощающей, а затем излучающей СВЧ-излучение в виде энергетического сгустка – шарового электрического разряда на металлическую иглу с размерами (диаметр $\sim 0,5$ мм, длина $\sim 4,5$ см) полученные эффекты появления шарового разряда имели некоторые отличия. В каждом из шести проведенных опытах шаровой разряд, образующийся на острие металлической иглы, не отделялся от неё и имел 1 см в диаметре.

В процессе проведения серии опытов выяснилось, что в камере сверхвысокочастотного излучения графитовые стержни заостряются со стороны, на которой возникает разряд порядка 5 см в диаметре, причем разряд отделяется от стержня и может двигаться самостоятельно. На металлической игле возникает разряд меньшего диаметра, который не отделяется от нее, а задерживается магнитным полем, возникающим у иглы. Намагниченность иглы сохраняется после завершения опыта. Образование разряда происходит с выделением теплоты и образованием озона, электроскоп показывает наличие электрического заряда в момент контакта шарового разряда с металлической сеткой, соединенной с электроскопом. Изучение использованных в эксперименте графитовых стержней под микроскопом показало заострение их верхнего конца, на котором происходило образование шарового заряда, что также может быть обусловлено стеканием электрического заряда, приводящего и к обугливанию пробки, в которой находился в процессе эксперимента графитовый стержень.

В случае расположения острого конца иглы в пробке происходит оплавление металла, в противоположном случае ушко иглы, помещенное в пробку, разрывается.

При помещении острия иглы в пробку на глубину $\sim 1,5$ см за 1–2 секунды наблюдается прожигание пробкового дерева с появлением обугленности тороидальной формы с диаметром ~ 10 мм (рис. 1). При использовании графитного стержня появившийся шаровой заряд отделяется от него и выходит наружу, при этом оставляя за собой следы обугливания пробки по траектории своего движения (рис. 2). По термическим нарушениям в веществе (пробке), в котором протекал разряд, была определена тороидальная форма возникающего электрического разряда, который затем прожигал пробку, выходил наружу, отделялся и становился доступным для наблюдения в виде светящейся сферы.

В целях определения химического состава полученного шарового разряда было проведено установление его спектрального состава, при этом спектроскоп зафиксировал и сфотографировал спектральные линии, обозначившие присутствие в шаровом разряде кислорода, водорода и гелия. По поводу наличия гелия Ю.И. Устиновским, зав. лабораторией фазовых превращений Удмуртского государственного университета, профессора кафедры термофизики материалов Физико-технического института УрО РАН был сделан следующий комментарий: «По-видимому, в локальных точках на поверхности графита напряжение достаточно высоко, что позволяет пройти реакции $\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{He}$ (все-ионы)».

По плавлению тугоплавких металлов и минералов, находящихся в контакте с шаровым разрядом, была определена так же температура наблюдаемого эффекта появления светящегося плазмоида – ориентировочно более 3500°C , что соответствует температуре электрических разрядов в газах. При взаимодействии шарового разряда с вольфрамовой проволокой (температура плавления 3416°C), закреплённой на вершине графитового стержня, произошло испарение материала вольфрама.

Дальнейшее исследование взаимодействия шарового разряда и опытно-экспериментальных материалов, обладающих различными физическими свойствами, привело к следующим результатам. Воздействие ша-

рового разряда на мелкие кусочки чугуна соединённые между собой магнитным притяжением, установленные на термостойкой керамической подставке, привело к их сплавлению в цельный кусок чугуна (температура плавления 1200 °С) с превращени-

ем ферромагнетика в парамагнетик после прохождения температуры Кюри и потерей магнитных свойств. Аналогичным образом проходило сплавление механически размельчённого в порошок гранита (температура плавления 1000 °С) (рис. 3.)



Рис. 1. Термическое разрушение пробки в процессе образования шарового разряда на металлической игле

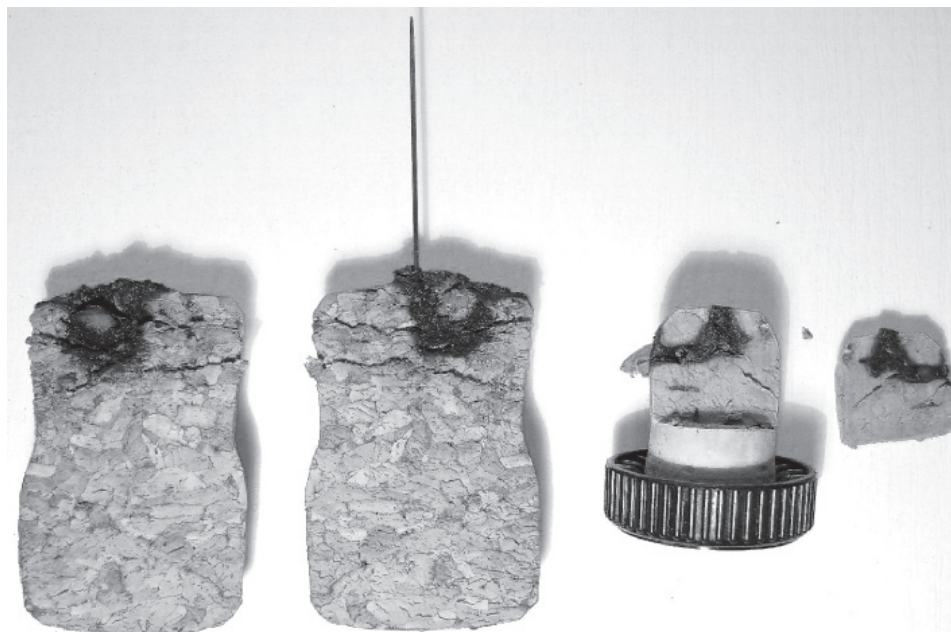


Рис. 2. Термическое разрушение пробки в процессе образования шарового разряда на графитовом стрежне, показывающее траекторию движения отделяющегося шарового разряда

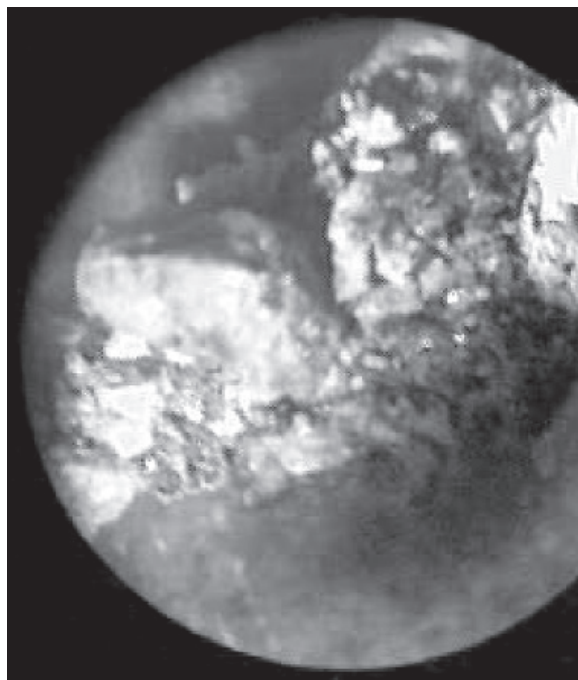


Рис. 3. Результаты сплавления механически размельченного в порошок графита под действием шарового разряда

При воздействии шарового разряда на древесную смолу произошла кристаллизация янтарной кислоты, ее окаменение и превращение её в янтарь. В процессе эксперимента установленные в керамической чашке засохшие кусочки дубовой смолы расплавились в течение 30 секунд, а затем кратковре-

менное (6–7 секунд) воздействие шарового разряда привело к закипанию почерневшей массы с последующим ее возгоранием. После остывания и промывания продуктов горения были обнаружены образования диаметром порядка 2 мм, имевшие янтарный цвет и высокую твердость (рис. 4.).

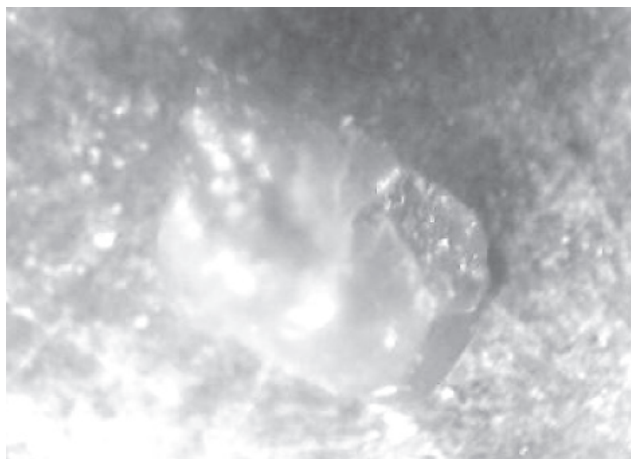


Рис. 4. Результат кристаллизации дубовой смолы с образованием янтаря

В процессе воздействия шарового разряда на графитные стержни диаметром 0,5–0,7 мм было зафиксировано, что при пересечении их разрядом стержни расплавляются на две части, места бывшего соединения которых под микроскопом выглядят как оплавленные шарообразные об-

разования диаметром от половины до двух изначальных диаметров стержня. Также были обнаружены графитовые шарообразные образования отдельно от частей графитового стержня. По данным специальных исследований Института теплофизики экстремальных состояний Объединённого

института высоких температур Российской академии наук (ИТЭС ОИВТ РАН), температура плавления графита равняется 4800 К [10]. Анализируя представленные в научной литературе способы экспериментального исследования термических свойств углерода при высоких температурах и умеренных давлениях, стоит отметить, что полученные результаты эксперимента по плавлению графита при атмосферном давлении являются уникальными [1].

В целях изучения физических характеристик графитового стержня, применяемого для экспериментов по созданию шарового электрического разряда, а также с целью изучения возможного изменения его физических и химических свойств, был проведён ряд экспериментов по воздействию на охлаждённый до минусовых температур графитовый стержень шаровым электрическим разрядом. В серии экспериментальных опытов шесть из девяти графитовых стержней, охлажденных до температуры -18°C , при наличии малых размеров стержня (около 0,5 мм в диаметре), разницы температур в несколько тысяч градусов и резкого перепада температур, высокой теплопроводности, были практически моментально разрушены в местах соприкосновения с шаровым разрядом.

При изучении образцов использованного графитового стержня с помощью микроскопа было обнаружено изменение структуры поверхности графита, подвергнувшегося воздействию мощного термо-удара с появлением микроскопических вкраплений кристаллов белого цвета, имеющих форму октаэдра, а также были обнаружены белые, хрупкие, нитевидные и сетковидные структуры (рис. 5). Объяснить их появление также можно с точки зрения метода академика Б.В. Дерягина. «Сущность метода заключается в том, что при определённых условиях (насыщенность объёма пространства углеродом, высокая температура, затравочные частицы кристаллического углерода) рост кристаллов алмаза возможен и при атмосферном давлении. При этом возможно образование нитевидных кристаллических структур» [9, С. 398–399]. Проведённые опыты открывают новые перспективы в соз-

дании принципиально новых технологий синтеза алмаза, а также разнообразных молекулярных структур графита. Выдвинута гипотеза об образовании на графитовых образцах в результате плазменного термо-удара шаровым разрядом таких модификаций графита, как углеродные нанотрубки и фуллерены. Подтверждение данных предположений позволило бы значительно удешевить производство указанных образований, столь необходимых в индустрии нанотехнологий. Исследованиями в области создания новых молекулярных структур углерода, а также экспериментами по практическому применению шарового электрического разряда и теоретическому обоснованию его физической природы занимается Лаборатория плазмотермического синтеза при Российском университете дружбы народов, возглавляемая Дмитрием Бурулцким [1].

Изучение влияния экспериментального воздействия шарового разряда на скорость кристаллизации перенасыщенного раствора NaOH, являющегося проводником электрического тока, показало, что скорость кристаллизации существенно увеличивается, кристаллы появляются также и на поверхности графитового стержня, однако шаровой разряд может возникнуть только в случае использования минимального объёма раствора.

В рамках изучения явления взаимодействия шарового разряда и вещества была проведена серия экспериментов, связанных с разработкой синтеза материалов (в том числе минералов) на основе подбора необходимого состава порошковых смесей (шихт) путём сплавления ряда составных химических веществ. Техника сверхвысокочастотного, плазмотермического получения рубина, выбранного в качестве цели экспериментального опыта по причине простоты его химического состава, предполагала использование шихты оксида алюминия и трёхвалентного оксида хрома в пропорциях 9:1, которая была помещена в термоустойчивую керамическую посуду. В процессе воздействия шаровым разрядом (порядка 6–8 секунд) шихта раскалялась до красна, происходило чрезмерное нагревание керамической термоустойчивой чаш-

ки, на которой было заметно движение не успевшей раскалиться части шихты. После просеивания продуктов эксперимента было обнаружено большое количество кристаллов красного цвета порядка 2–3 мм (рис. 6). Проверки полученных кристаллов, проведенные по Шкале Мооса, показали, что полученные кристаллы соответствуют по твёрдости 9, той же, что и природные

рубины. Была проведена серия опытов с экспериментальным подбором пропорций составных веществ изменением в целях наиболее успешной и быстрой кристаллизации. Представленный рис. 7 позволяет визуально оценить сходство минерала, созданного в результате контакта с шаровым разрядом (слева) и природного рубина (справа).

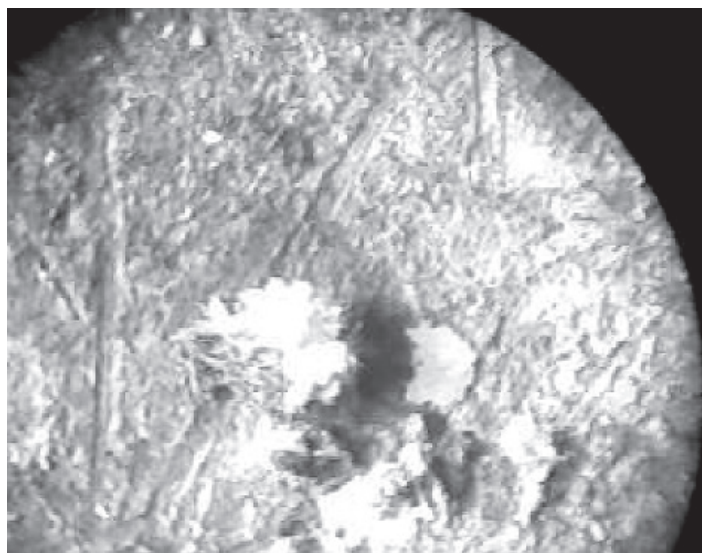


Рис. 5. Белые, хрупкие, нитевидные и сетковидные структуры на поверхности графита, подвергшегося термо-удару шарового разряда

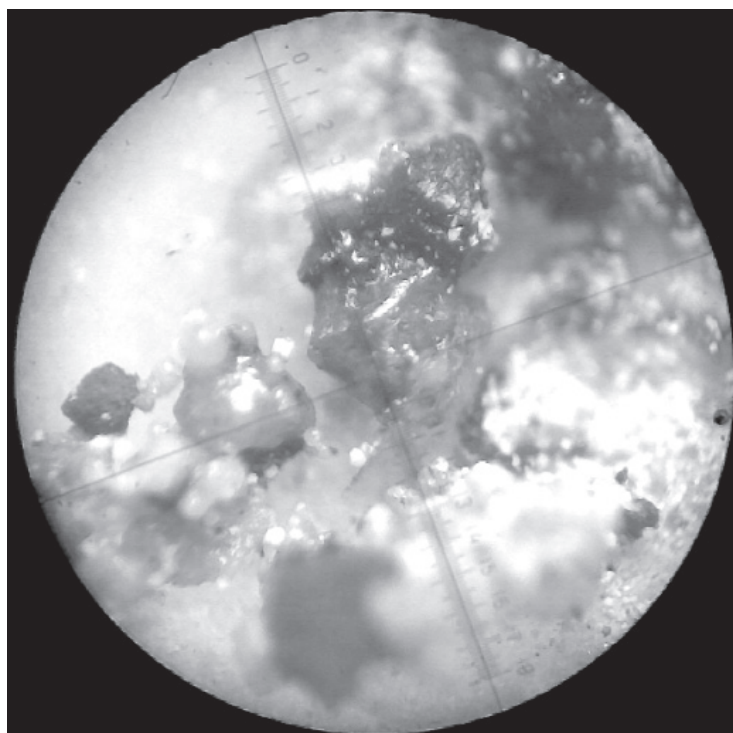


Рис. 6. Кристаллы красного цвета (рубины) как обработки шаровым разрядом шихты оксида алюминия и трёхвалентного оксида хрома в пропорциях 9:1

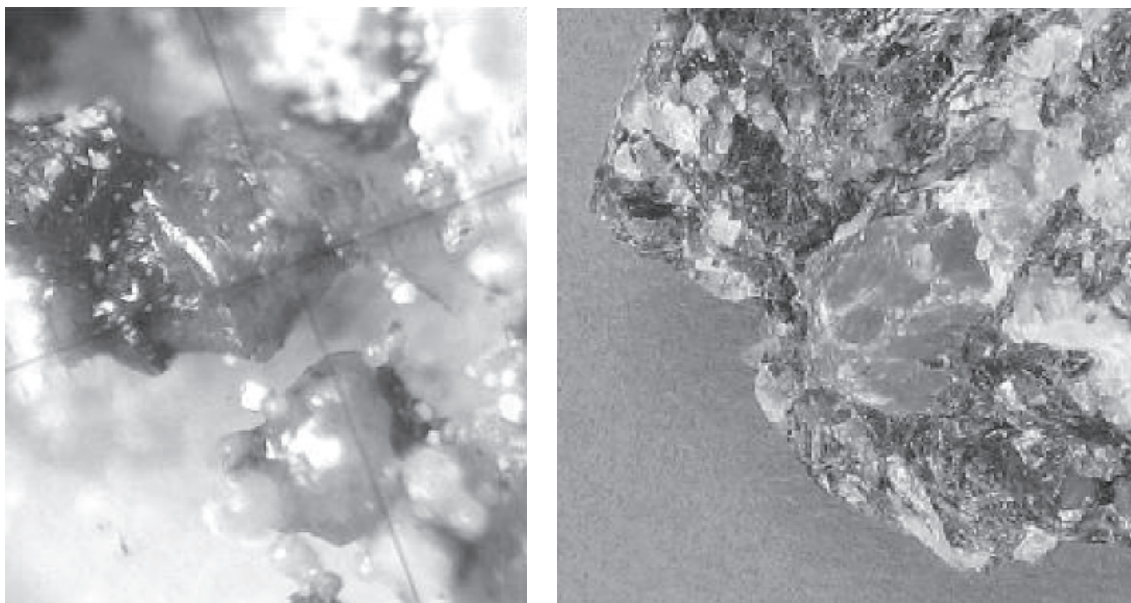


Рис. 7. Визуальное сходство минерала, созданного в результате контакта с шаровым разрядом (слева) и природного рубина (справа)

Успешные опыты по синтезу искусственного рубина позволили продолжить эксперименты по созданию других искусственных минералов. Ввиду простоты химического состава и доступности исходных веществ следующими минералами, которые было решено синтезировать, были сапфир и изумруд. Технология осталась той же самой. Изготавливалась шихта из исходных веществ, входящих в состав искомого минерала, которая помещалась в керамическую чашку. Графитовый стержень устанавливался непосредственно в шихте. При включении СВЧ-генератора в экспериментальной камере появлялся шаровой разряд, который ввиду высокой температуры сплавлял исходные вещества, синтезируя тем самым необходимый минерал. Полученные результаты синтеза минералов представлены на рис. 8 и 9.

В процессе синтеза сапфира были использованы следующие составные элементы: оксид алюминия, оксид железа, а также оксид титана. Определённая сложность заключалась в выборе оптимальных пропорций составных веществ, в особенности оксида титана, поскольку при недостаточном перемешивании шихты оксид титана восстанавливался до металлического титана, и в шихте образовывались сплавленные титановые шарики. В ходе отработки

техники эксперимента эта проблема была устранена. Возникновение сплавленных, идеально шарообразных, сверхмалых образований титана открывает возможность создания технологии производства титановых подшипников, столь малых, что они смогут применяться в различных образцах высокоточной техники.

Некоторые сложности возникли с поиском реагентов для синтеза изумруда, а именно – оксида бериллия, который был, тем не менее, получен опытным путём из минерала берилла, состоящего так же из оксида кремния, тоже входящего в состав изумруда. Также в состав исходной шихты входили оксид алюминия и хрома с небольшими примесями оксида железа. Состав шихты, использовавшейся в синтезе изумруда, был следующим: оксид бериллия – оксид алюминия – оксид кремния – оксид хрома – оксид железа находились в пропорциях 13:18:65:2:2. В ходе экспериментов по получению минералов самые большие кристаллы оказались у изумруда, что связано с наименьшей долей в составе шихты тугоплавкого оксида хрома (рис. 10).

В процессе поставленной исследовательской задачи было экспериментально доказано появление шарового разряда в условиях микроволнового, сверхвысокочастотного

стотного излучения сантиметрового диапазона, определены некоторые его физические параметры и особенности поведения в зависимости от условий эксперимента. Высокая температура, появляющаяся при возникновении электрического шарового разряда так же применялась для изучения физических свойств некоторых веществ (гранит, древесная смола, графит, перенасыщенный раствор NaOH, порошковые смеси разного химического состава), что позволило обнаружить ускоренную кристаллизацию раствора, образование твердых пород из пыли

и смолы, а также появление новых структур на поверхности образцов графита (которые в соответствии с теоретическими выводами академика Б.В. Дерягина могут оказаться алмазами [9]). При обработке шихты (смеси порошков) оксида алюминия и трёхвалентного оксида хрома в пропорциях 9:1 электрическим шаровым разрядом были получены кристаллы, которые по шкале Мооса соответствовали твердости 9, что соответствует твердости кристаллов рубина. В процессе экспериментов также были получены кристаллы сапфира и изумруда.

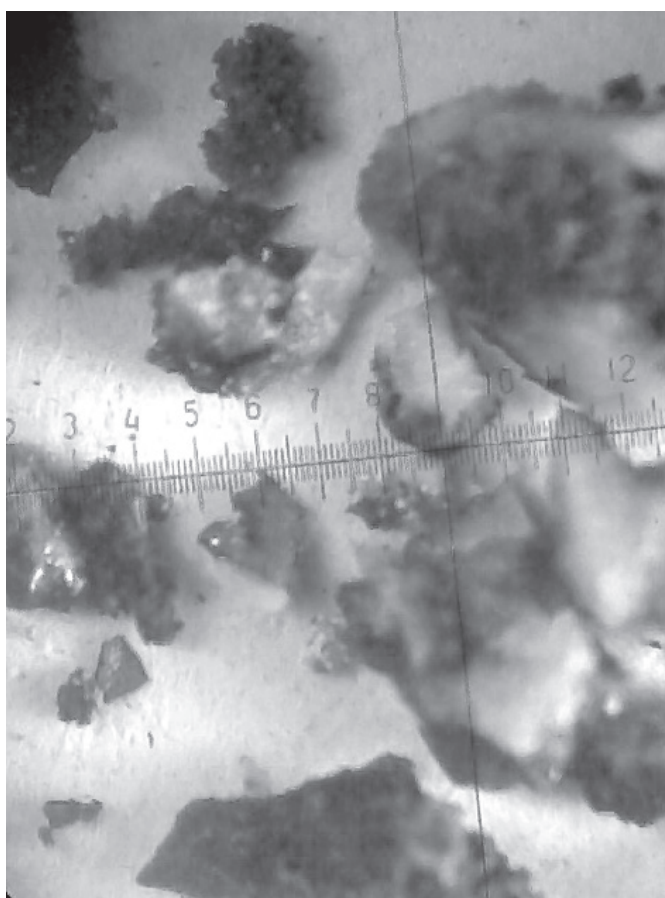


Рис. 8. Сапфиры, полученные в результате воздействия на шихту шарового разряда

Представленные материалы опытно-экспериментальной работы могут быть полезными для разработки новых технологий синтеза материалов и минералов при помощи воздействия шаровым разрядом, физико-технического поиска способов повышения прочностных характеристик различных материалов за счет залечивания дефектов поверхности и улучшения струк-

туры и свойств используемых образцов. Дальнейшие исследовательские перспективы могут касаться создания методики оценки распределения температуры при контакте опытно-экспериментальных материалов с шаровым разрядом в поле СВЧ.

Отдельной темой исследования также может стать исследование трансформации структуры порошкообразных материалов

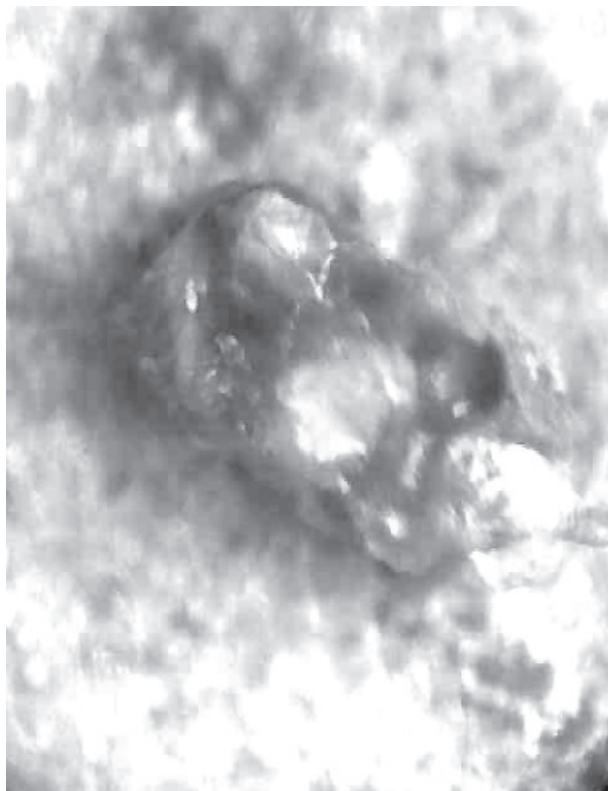


Рис. 9. Изумруды, полученные в результате воздействия на шихту шарового разряда

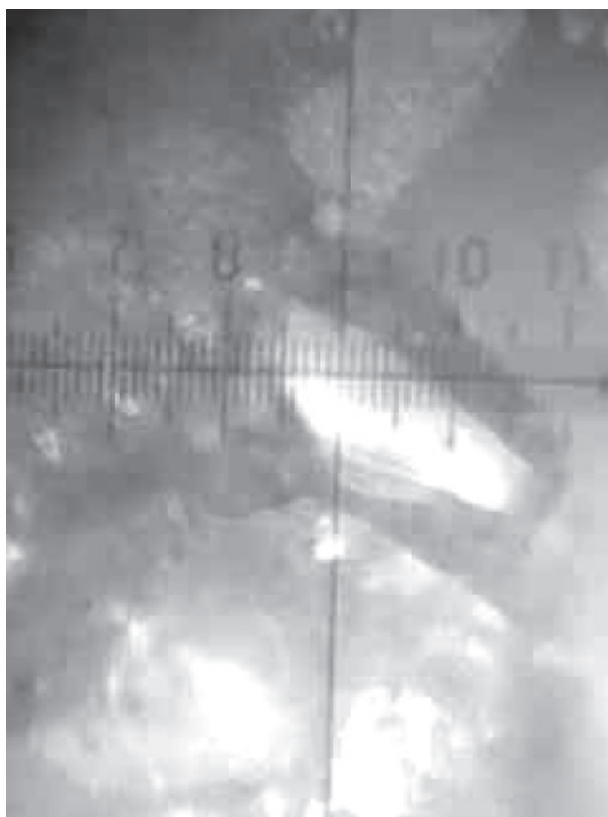


Рис. 10. Оценка размера кристалла, наиболее крупного из всех полученных в результате обработки шихты шаровым разрядом

за счет развития процесса контактного плавления. На основе применения шарового разряда может быть также разработана технология реализации процесса высокотемпературного спекания порошкообразных материалов с получением нужных физико-технических показателей получаемых образцов микроволнового синтеза при помощи шарового разряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асиновский Э.И. Экспериментальное исследование термических свойств углерода при высоких температурах и умеренных давлениях / Э.И. Асиновский, А.В. Кириллин, А.В. Костановский // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – С. 931–944.
2. Бурлуцкий Д.С. Исследование шарового электрического разряда в СВЧ-излучении // Научные работы (Zinātnisko pētījumi). – 2007. – № 4. – С. 49–54.
3. Дедовец М.А. Корундовые материалы, модифицированные радиопоглощающими веществами: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.01. – СПб., 2004. – 173 с.
4. Диденко А.Н. СВЧ-энергетика / А.Н. Диденко, Б.В. Зверев. – М.: Наука, 2000. – 212 с.
5. Пономарев А.Н. Применение СВЧ-излучения для стимулирования химических реакций / А.Н. Пономарев, В.Л. Тарасенко // ЖВХО. – 1973. – Т. 18, №1. – С. 34–42.
6. Суворов С.А. Микроволновый синтез материалов из порошков оксида алюминия / С.А. Суворов, И.А. Туркин, Л.Н. Принцев, А.В. Смирнов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – № 9. – С. 9–13.
7. Суворов С.А. Структура материалов на основе Al_2O_3 , синтезированных в микроволновой печи / С.А. Суворов, И.А. Туркин, М.А. Дедовец // Огнеупоры и техническая керамика. – 2004. – № 1. – С. 2–5.
8. Суворов С.А. Структура и свойства циркониевых материалов, полученных саморазогревом в электромагнитном поле СВЧ / С.А. Суворов, И.А. Туркин, М.А. Дедовец // Огнеупоры и техническая керамика. – 2004. – № 8. – С. 5–7.
9. Конюшая Ю.П. Открытия и научно-техническая революция. – М.: Московский Рабочий, 1974. – 494 с.
10. Коробенко В.Н. Измерение температуры плавления графита и свойства жидкого углерода [Электронный ресурс] / В.Н. Коробенко, А.И. Савватимский // ГрафитКарфт. – http://www.grafitural.ru/?Statmzi:_Izmerenie_temperatury_plavleniya_grafita_i_svoistva_zhidkogo_ugleroda. Проверено 01.08.2011.