

Г.П. Богатырева, д.т.н., с.н.с.

В.И. Лавриненко, д.т.н., с.н.с.

Ю.И. Никитин, к.т.н., с.н.с.

О.О. Пасичный, к.т.н., с.н.с.

А.Н. Соколов, к.т.н., с.н.с.

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины*

А.А. Сытник, к.т.н., доц.

НПФ «КАРМА», г. Светловодск

ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ОВАЛИЗАЦИИ, ПОЛИРОВКИ И КОРРЕКТИРОВКИ ФОРМЫ ЗЕРЕН АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ

Представлены результаты многолетних исследований в Институте сверхтвердых материалов НАН Украины по разработке и применению нестандартного оборудования, методов и технологии оваллизации, полировки и корректировке формы зёрен алмазных шлиф- и микропорошков. Описаны устройства и принцип действия рекомендованного оборудования при обработке различного исходного алмазного сырья.

Приведены результаты исследований по определению физико-механических и эксплуатационных характеристик алмазных шлиф- и микропорошков после их оваллизации и полировки, которые свидетельствуют об их эффективности.

Введение. Технология оваллизации, полировки и корректировки формы зерен порошков из синтетических алмазов (АС) и природных алмазов-борт на основе специального нестандартного оборудования позволяет обеспечить эффективное воздействие на форму и характер поверхности зерен, повысить их прочностные и эксплуатационные характеристики при использовании их в различных типах инструментов. Предпочтительным, во многих случаях, является получение зерен изометричной формы с различной степенью шероховатости поверхности [1].

Эффект повышения коэффициента изометричности зерен (оваллизации) можно разделить на специальную механическую, физико-механическую и физико-химическую обработку, при которых производится разрушение дефектных зерен, скалывание острых удлиненных выступов или снижение шероховатости поверхности, а в ряде случаев ее полировка, и на способы получения порошков с изометричной формой и гладкой поверхностью зерен путем сортировки на воздушном сепараторе и вибростолах [2].

Принципиальной разницы между понятиями овализации и корректировки формы зёрен нет. Принято считать, что в результате проведения процесса корректировки формы зерен коэффициент изометричности (отношение ширины проекции зерна к его максимальной длине) составляет 0,75–0,79, а при овализации – 0,80–0,87, причем во втором случае зерна имеют более гладкую поверхность, а выступы и углы практически отсутствуют. Процессы обработки алмазов, обеспечивающие значительное снижение микронеровностей на поверхности зерен, т.е. уменьшение их шероховатости, называют полировкой.

Одним из наиболее высокопроизводительных аппаратов (производительность 60–80 тыс.кар/ч) для корректировки формы шлифпорошков из АС является овализатор, выполненный на базе роторной дробилки непрерывного действия [3]. От роторной дробилки УДО-1 он отличается наличием торроидальной рабочей камеры и ротором с полусферическими билами.

Схема торроидальной камеры овализатора роторного типа показана на рисунке 1. Аппарат предназначен для овализации алмазов с размером зерен 0,1–3,0 мм. Отношение радиуса закругления внутренней стенки камеры к радиусу наружной части бил имеет определенную величину, а именно 0,1–0,2, а к размеру овализируемых зёрен шлифпорошков разных зернистостей 80–160. Рабочие элементы (билы) отстоят от внутренней поверхности камеры на расстоянии не более 2,0–08 диаметра зёрен.

Технологией предусмотрено использование специального устройства для автоматического управления режимом работы. В процессе работы скорость вращения ротора периодически снижается и одновременно автоматически прекращается подача исходного материала в рабочую камеру. Периодическое снижение скорости вращения рабочих элементов способствует своевременной выгрузке продукта из камеры, уменьшению переизмельчения и увеличению выхода крупных откорректированных изометричных зерен.

На рисунке 2 приведены формы зёрен, полученные при сравнительных испытаниях роторной дробилки УДО-1 и роторного овализатора с торроидальной камерой и полусферическими билами, при обработке алмазов пониженной прочности марки АС6. После овализации полученные порошки имеют изометричную форму зерен и более однородный зерновой состав. Характеристика продуктов после овализации зерен алмазов марок АС4 и АС6 при разных оборотах ротора с полусферическими билами приведена в таблице 1.

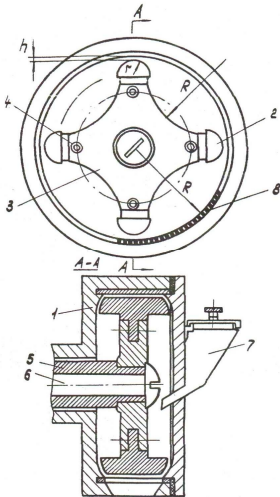


Рис. 1. Схемы камеры роторного овализатора: 1 – корпус; 2 – биды; 3 – ротор; 4 – пальцы крепёжные; 5 – втулка; 6 – вал; 7 – питатель; 8 – загрузочная решетка

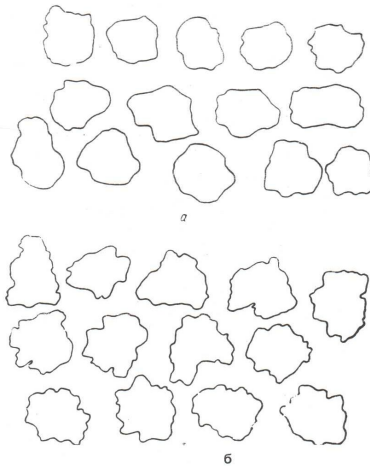


Рис. 2. Форма зёрен порошков синтетического алмаза марки АС6 зернистостью 250/200 после обработки: а – в терроидальной камере; б – в цилиндрической

Также для корректировки формы зерен алмазных шлифпорошков, эффективным является применение электромагнитного вихревого аппарата (4), принцип действия которого заключается в следующем. В рабочую камеру, представляющую собой ёмкость цилиндрической формы из немагнитного материала (ситалла или нержавеющей стали) загружается смесь обрабатываемого материала и ферромагнитных неравноосных частиц в определённом соотношении. Камера устанавливается в специальное устройство аппарата, создающее вращающееся магнитное поле с магнитной индукцией 0,15Т. Под действием переменного электромагнитного поля ферромагнитные частицы приходят во вращательное движение со скоростью 3000 об./мин. и частотой колебаний 1000 Гц и образуют большое число встречных потоков. Обрабатываемые зерна алмазных шлифпорошков на больших скоростях соударяются между собой, а также с ферромагнитными частицами и стенками рабочей камеры, в результате чего происходит избирательное дробление, овализация и корректировка формы изометричных зерен.

Таблиця 1

Характеристика продуктів овалізації після обробки вихрових алмазних марок АС6 і АС4 при різних числах оборотів ротора

Частота вращения ротора	Насыпная плотность, кг/м ³ × 10 ³				Удельная поверхность, м ² /кг		Кoeffициент изометрич- ности	
	свободная насыпка		утряска					
	АС6	АС4	АС6	АС4	АС6	АС4	АС6	АС4
1000	1,55	1,57	1,88	1,85	75	86	0,75	0,77
1500	1,56	1,58	1,89	1,87	77	87	0,77	0,78
2000	1,58	1,59	1,90	1,88	78	89	0,79	0,79
2500	1,59	1,60	1,92	1,89	79	92	0,80	0,80
3000	1,60	1,61	1,94	1,90	80	93	0,81	0,81
3500	1,61	1,62	1,96	1,91	82	96	0,81	0,83
4000	1,61	1,63	1,96	1,92	85	101	0,82	0,85
5000	1,62	1,64	1,97	1,94	86	106	0,83	0,85

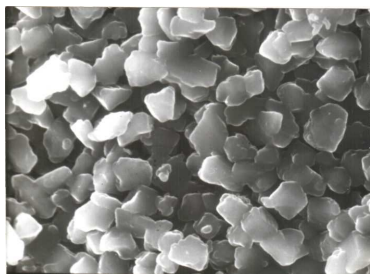
Технологія корективки форми зерен с использованием вихревого аппарата обеспечивает возможность обработки шлифпорошков различных марок зернистостью от 50/40 до 630/500. Для обеспечения равномерной корективки формы и овалізації зерен порошков на протяжении всей длины рабочей камеры предусмотрено её возвратно-поступательное перемещение.

Обработка шлифпорошков из АС в вихревом аппарате обеспечивает получение овалізаціонных алмазных зерен без наличия острых, хрупких кромок с коэффициентом изометричности $K_{из}$ 0,84–0,88 и повысить их прочностные свойства. Технология предусматривает обработку в вихревом аппарате в качестве исходного материала как обогащенный продукт синтеза алмаза и отдельные зернистости шлифпорошков из АС, так и шлифпорошков из обычных абразивных материалов и тугоплавких соединений (электрокорунд, оксид цезия, карбид кремния, карбид бора, карбид титана, дибарид титана и др.).

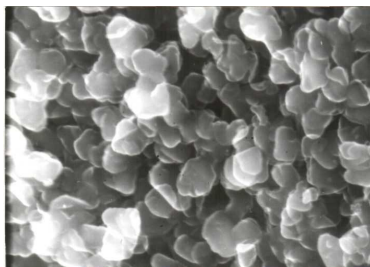
Разработаны оптимальные технологические режимы работы электромагнитного вихревого аппарата и схемы переработки исходного алмазного сырья, обеспечивающие эффективную овалізацію и корективку формы зерен алмазных микропорошков. Содержание основной фракции в микропорошках марки АСМО-1 составляет 83 %, в субмикропорошке зернистостью 1/0,5–70,5 % (табл. № 2). Фотографии овалізованных микропорошков приведены на рисунке 3.

В результате овалізації в вихревом аппарате 50 тыс. карат природ-

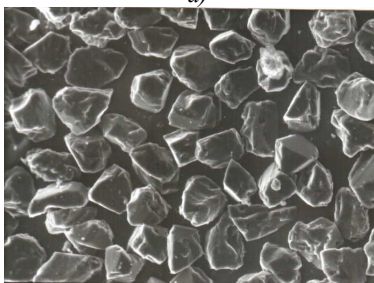
ного алмаза, содержащего 3,5 % игольчатых и пластинчатых зёрен, размером 60 мкм в течение 20 мин., в полученном продукте зернистостью 40/28 они полностью отсутствуют (рис. 3).



а)



б)



в)

Рис. 3. Прецизионные овализованные микропорошки марки АСМО-1, зернистостью: а) 3/2; б) 2/1; в) 40/28

Таблица 2

Характеристики прецизионных овализованных микропорошков АСМО-1

Зернистость порошка	Содержание фракций, %			Коэффициент формы	Средний диаметр частиц, мкм	Удельная поверхность, м ² /г	Коэффициент текучести	Насыпная плотность, г/см ³	
	крупная	основная	мелкая					с утряской	без утряски
5/3	3	83	14	1,24	4,18	2,1	108	1,34	1,23
3/2	3	83	14	1,27	3,21	3,0	116	1,28	1,19
2/1	3	83	14	1,27	2,16	4,2	142	1,20	1,08
1/0	2	83	15	1,27	1,11	8,4	162	1,15	1,06
1/0,5	1	70,5	28,5	1,27	1,18	7,9	150	1,18	1,07

Для овализации природных и синтетических алмазов различных марок с крупностью зерен от 80 мкм и выше предназначена установка

УОА-3. Овалізація на установці УОА-3 (рис. 5) здійснюється з допомогою стисненого повітря, який подається в циліндричну камеру по касательній до внутрішньої окружності. Камера представляє собою порожній циліндр. Виникаючої центробіжної силою алмази прижимаються до стінок камери і піддаються істиранню однією стінкою камери і другою, внаслідок чого отримують овальну форму. Футеровка циліндричної стінки камери виготовляється з матеріалу, який легко піддається шаржірованню дрібними алмазними частинками. Исходний порошок завантажується в камеру і щільно закривається кришкою з зажимним пристроєм. Для захисту від викиду алмазів з камери між її корпусом і кришкою ставиться сітка. Камера з'єднується з пилеуловлювальною системою. Оброблений повітря поступає в циклон, де осідає алмазний порошок з розміром зерен 80–50 мкм, частинки менше 40 мкм уловлюються в тканинному фільтрі.

Установлено, що при збільшенні тиску в робочій камері овалізатора значно зменшується вихід продукту вихідного розміру. Так, наприклад, при тиску 150 кПа порошок АС6 250/200 практично повністю дробиться, т. е. відбувається не овалізація порошку, а його дроблення. При тривалості обробки, рівній 30 хв, вихід овалізованих шліфпорошків марок АС 32, АС15, АС6, АС4 і АС2 зменшується порівняно з вихідним розміром в середньому на 20 %.

При класифікації за розмірами продукту, отриманого після овалізації на установці УОА-3, при інших рівних умовах вміст зерен основної фракції в шліфпорошках з синтетических алмазів зростає на 5–10 % і міцність їх збільшується на 10–15 %. Однак вихід великих зернистостей зменшується в середньому на 12 %.

Для корекції форми зерен невеликих партій шліфпорошків з АС зменшеної міцності (АС4, АС6, АС15) розроблено апарат вібраційного типу (рис. 6). Він складається з циліндричної робочої ємкості 1, встановленої вертикально, на внутрішній поверхні якої розташований по спіралі лоток 2. В стінці ємкості закріплено жолоб 3, що починається в верхній частині лотка 2 і закінчується над центральною частиною конічного дна 4 робочої ємкості 1. Ємкість оснащена завантажувальним бункером 5, розвантажувальним вікном 6 і збірником 7. Закріплена вона на плоских пружинах 8 до основи 9. В основі знаходиться електромагнітний вібропривід зворотного обертання 10 (4).



Рис. 5. Оби́щий вид установки УОА-3 для овализации алмазов

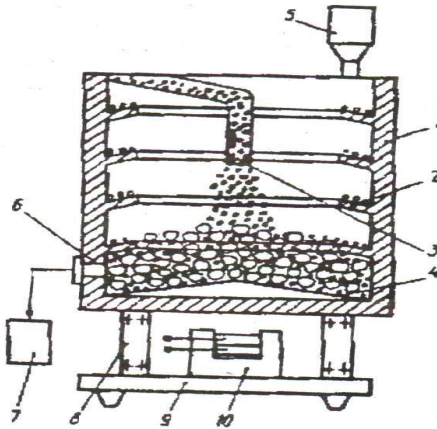


Рис. 6. Устройство виброаппарата для овализации и корректировки формы алмазных зёрен

Мелющие тела (шары) загружают в бункер 5, включают вибропривод 10 возвратно-винтового движения. Шары из бункера 5 поступают в рабочую емкость 1, затем в бункер загружают исходный порошок, который поступает также в рабочую емкость 1. Шары под действием вибрации начинают хаотически перемещаться в рабочей емкости, вращаясь вокруг своей оси. Зерна порошка по мере продвижения по высоте емкости, проходя через пространство между вращающимися шарами, сталкиваются с ними, и микронеровности на поверхности зе-

рен подвергаются обкатке. Порошок, достигнув конического дна 4 рабочей емкости, стекает к её периферии и в результате действия системы плоских пружин вибропривода возвратно-винтового движения 10 поднимается по спиральному лотку 2, поступает в желоб 3, затем снова в центр емкости. Порошок многократно циркулирует в рабочей зоне емкости. После обработки порошок выгружают через разгрузочное окно 6 в сборник 7. Диаметр рабочей емкости аппарата — 200 мм, высота — 300 мм. Масса загрузки исходного порошка – до 2500 кар, загрузка шаров диаметром 10–12 мм — 500 г, время обработки — 12–15 мин. В готовом продукте $K_{изм} = 0,81–0,84$.

Для овализации крупнозернистых алмазных микропорошков в ИСМ также была разработана конструкция комбинированного воздушно-шарового аппарата (5). В плоскую помольную камеру с центральным выходным отверстием загружаются металлические шары, затем тангенциально вводится воздушный поток под давлением 300–500 кПа (рис. 7). Поток раскручивает шары; которые, разгоняясь, двигаются по периферии камеры. Помешенный в камеру порошок подвергается истирающему воздействию шаров и воздушного турбулентного потока. Скорость потока такова, что удерживает порошок в камере за счет центробежных сил, а наиболее топки частицы, возникающие при обработке, выносятся через центральное отверстие и улавливаются фильтром. Аппарат обеспечивает производительность 3–4 тыс. кар/ч при обработке микропорошков зернистостью 60 мкм. Средний $K_{изм}$ зёрен в продукте овализации 0,83. Более мелкие порошки на нём обрабатывать нецелесообразно.

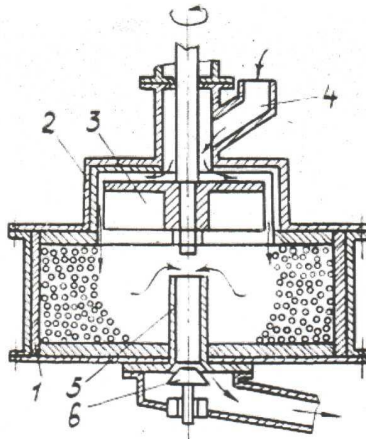


Рис. 7. Комбинированный воздушно-шаровой аппарат

для овалізації мікропорошків: 1 – помольна камера; 2 – камера;
3 – вращающийся ротор; 4 – загрузочный патрубок; 5 – клапан;
6 – разгрузочный патрубок

Разрушение агрегатов, овалізация и корректировка формы зёрен достигаются соударяющимися воздушными струями при многократной циркуляции порошка в замкнутом цикле (6). Схема аппарата приведена на рисунке 8. Основным узлом является плоская сепарационная камера 6 с тангенциальным вводом 4. В периферийной стенке камеры выполнено отверстие, связанное трубопроводом 10 с входным тангенциально расположенным штуцером. На трубопроводе установлен узел струйного диспергирования, состоящий из сопел 3, оси которых пересекаются в одной точке. Сопла направлены под углом, обеспечивающим эжекционное разрежение на участке трубопровода 10. Поток воздуха подаётся через трубопровод 1, расход его фиксируется ротаметром 2.

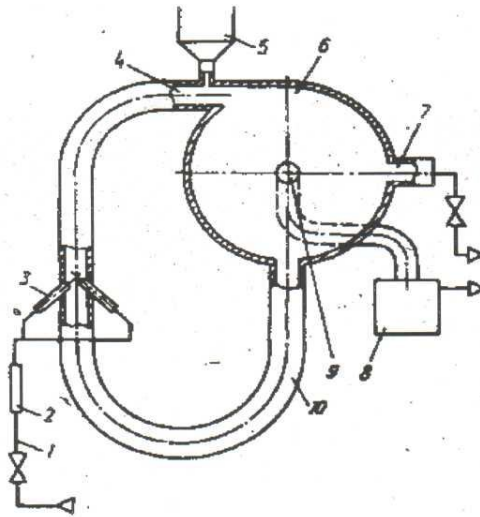


Рис. 8. Схема воздушно-центрального классификатора со струйным диспергированием: 1 – трубопровод; 2 – ротаметр; 3 – сопло;
4 – тангенциальный ввод; 5 – питатель; 6 – сепарационная камера; 7 – разгрузочный штуцер; 8 – сборник; 9 – штуцер;
10 – трубопровод

Исходный материал порциями подаётся из питателя 5, движется в

замкнутом цикле с многократным диспергированием в зоне соударения струй. Мелкая фракция выносится через штуцер 9 в центральной части камеры в сборник 8.

Аппарат работает в автоматическом режиме по программе, задаваемой реле времени. При испытаниях в условиях Опытного завода ИСМ НАН Украины получено разделение исходного продукта зернистостью 60 мкм на фракции +16 и -16 мкм, причем, как показал анализ зернового состава, выполненный на гранулометре, содержание мелкой фракции в крупной зернистости составило 3,5 %, а крупной в мелкой — 2 %, $K_{изм}$ зёрен 0,80–0,81.

Перед овализацией микропорошков на барабанной шаровой мельнице (рис. 9) исходное алмазное сырьё зернистостью 60 мкм предварительно измельчали на электромагнитной мельнице с центральным ротором с целью разрушения крупных зёрен, имеющих микротрещины и включения сростков и некоторой части игольчатых и пластинчатых зёрен. Затем продукты измельчения предварительно классифицировали на стаканчиковой центрифуге, обезвоживали и взвешивали. Овализацию каждой зернистости производили отдельно. Технологический режим овализации микропорошков в барабанной шаровой мельнице: масса шаров — 10 кг, размер шаров — 8–10 мм, масса загружаемого порошка — 25 тыс. кар, частота оборотов в минуту барабана — 60 об.¹, время овализации — 3 часа.

Процесс классификации овализированных микропорошков после обработки на вихревом аппарате воздушно-шаровом аппарате и барабанной и шаровой мельнице становится значительно эффективнее. По соответствующей схеме и технологическим режимам можно изготавливать микропорошки зернистостью от 40/20 до 2/1 с содержанием зёрен основной фракции не менее 80 %.

Получены также положительные результаты исследований по обработке алмазов лучом лазера для корректировки формы зёрен, овализации и снижения шероховатости алмазных зёрен. С целью получения алмазов с гладкой поверхностью зёрен необходима специальная обработка для уменьшения поверхностных микродефектов (полировка). В качестве примера приведём метод полировки алмазов нагреванием в среде аргона до 1350–1400 °С и последующей обработки в калиевой селитре и кальцинированной соде в с отношении 10/1–3/1. При такой обработке происходит графитизация поверхностного слоя, который затем удаляют путём окисления (7).

Установлено, что абразивная способность микропорошков АСМ зернистостью 28/20, 20/14 и 14/10 после обработки водным насыщенным раствором гипохлорита кальция $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ возрастает в среднем на

8 %, микропорошков АСМ 7/5, 3/2 — на 15 %. Обработка микропорошков АСМ 28/20 и АСМ 7/5 водным насыщенным раствором персульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ позволяет увеличить их абразивную способность в среднем соответственно на 5 и 10 %, водным насыщенным раствором персульфата калия $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ — на 10 %. Шероховатость поверхности образцов из твердого сплава после обработки порошками, которые подвергались жидкофазному окислению, снижается на два разряда (8).

Потери алмазов при обработке водными насыщенными растворами $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ и $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ составили 3–5%. Необходимо отметить, что в случае оптимизации режимов окисления достигается более высокое качество алмазных микропорошков и сокращение потерь (рис. 10).

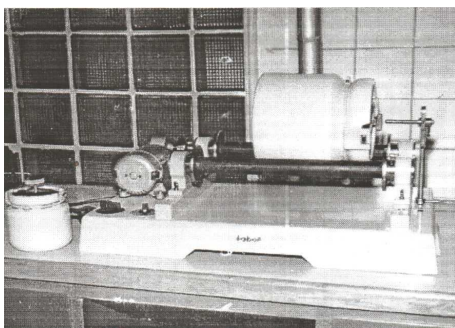


Рис. 9. Барабанная шаровая мельница

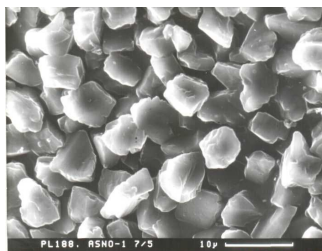


Рис. 10. Прецизионные овализованные микропорошки марки АСМО-1 зернистостью 7/5

Вывод. На основании проведенных опытов исследований можно сделать вывод, что обработка предложенными жидкофазными окислителями позволяет получить алмазный порошок с повышенными эксплуатационными характеристиками при его минимальных потерях.

Таким образом, разработанное в ИСМ оборудование, методы овализации, полировки и корректировки формы зёрен алмазных порошков позволяют эффективно воздействовать на структуру и характер поверхности алмазов, повышать их прочностные абразивные и эксплуатационные характеристики, увеличивать эффективность процесса классификации порошков по зернистостям. Применение таких порошков в алмазном инструменте обеспечивает повышение его стойкости, работоспособности в горном деле на 8–10 % и высокое качество обра-

ботки деталей из металлов и сплавов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Синтетические сверхтвердые материалы / отв. ред. *Новиков Н.В.* – К. : Наук. думка, 1986. – С. 96–118.
2. *Н.В. Новиков, Ю.И. Никитин, Г.П. Богатырёва*, Технологии и методы сортировки шлифпорошков из синтетических алмазов и форме и шероховатости поверхности зёрен. Сборник научных трудов – Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Вып. 11. – Киев, 2008. – С. 141–150.
3. Устройство для овализации абразивных зерен / *Никитин Ю.И., Бакаленко А.Н., Цытин Н.В.* А. с. № 04977 СССР, 1981.
4. Способ овализации твердых сыпучих материалов / *Бакуль В.Н., Никитин Ю.И., Цайтнер К.Л.* А. с. № 353740 СССР. Опубл. 23.10.82, Бюл. № 30.
5. Устройство для овализации и корректировки формы зерен сыпучих материалов / *Никитин Ю.И., Уман С.М., Корнилов Ю.П.* А. с. № 421403 СССР, 1987.
6. *Ю.И. Никитин* Методы и аппараты для овализации и классификации алмазных порошков : тезисы II научного семинара. – Томск : ТГУ.
7. *Ю.И. Никитин, С.М. Уман, С.С. Ярославская.* Центробежный воздушный классификатор со струйным диспергированием // Всесоюз. конф. "Применение аппаратов порошковой технологии и процессов термосинтеза в народном хозяйстве" : Тез. докл. – Томск : МВССО СССР, 1987. – С. 53–54.
8. *Ю.И. Никитин, В.Г. Полторацкий, А.Н. Михновская* Комплексный метод обработки порошков из синтетических алмазов : сб. научн. трудов / АН УССР Институт сверхтвердых материалов. – Киев, 1990. – 88 с.
9. *Ю.И. Никитин, А.Н. Михновская.* Влияние жидкофазного окисления алмазных микропорошков на их эксплуатационные характеристики // Сверхтвердые материалы. – 1982. – № 5. – С. 22–24.

БОГАТЫРЕВА Галина Павловна – доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующая отделом Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- получение новых сверхтвердых материалов;
- использование сверхтвердых материалов в промышленности.

ЛАВРИНЕНКО Валерий Иванович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- процессы абразивной обработки инструментами из СТМ;
- использование сверхтвердых материалов в промышленности;
- контактные процессы в зоне обработки.

НИКИТИН Юрий Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- получение новых сверхтвердых материалов;
- использование сверхтвердых материалов в промышленности.

ПАСИЧНЫЙ Олег Олегович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- процессы абразивной обработки сверхтвердых материалов;
- структурирование рабочего слоя абразивного инструмента.

СОКОЛОВ Александр Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- получение новых сверхтвердых материалов;
- использование сверхтвердых материалов в промышленности;
- влияние высоких давлений и температур на свойства сверхтвердых материалов.

СЫТНИК Алексей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, директор научно-производственной фирмы «КАРМА» (г. Светловодск, Кировоградская область).

Научные интересы:

- твердосплавный инструмент;
- процессы алмазной обработки;
- процессы резания инструментами их твердых сплавов.

Подано 03.09.2011

