

РЕМОНТ ИННОВАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕРНИЗАЦИЯ



МЕТАЛЛООБРАБОТКА

МЕТАЛЛУРГИЯ

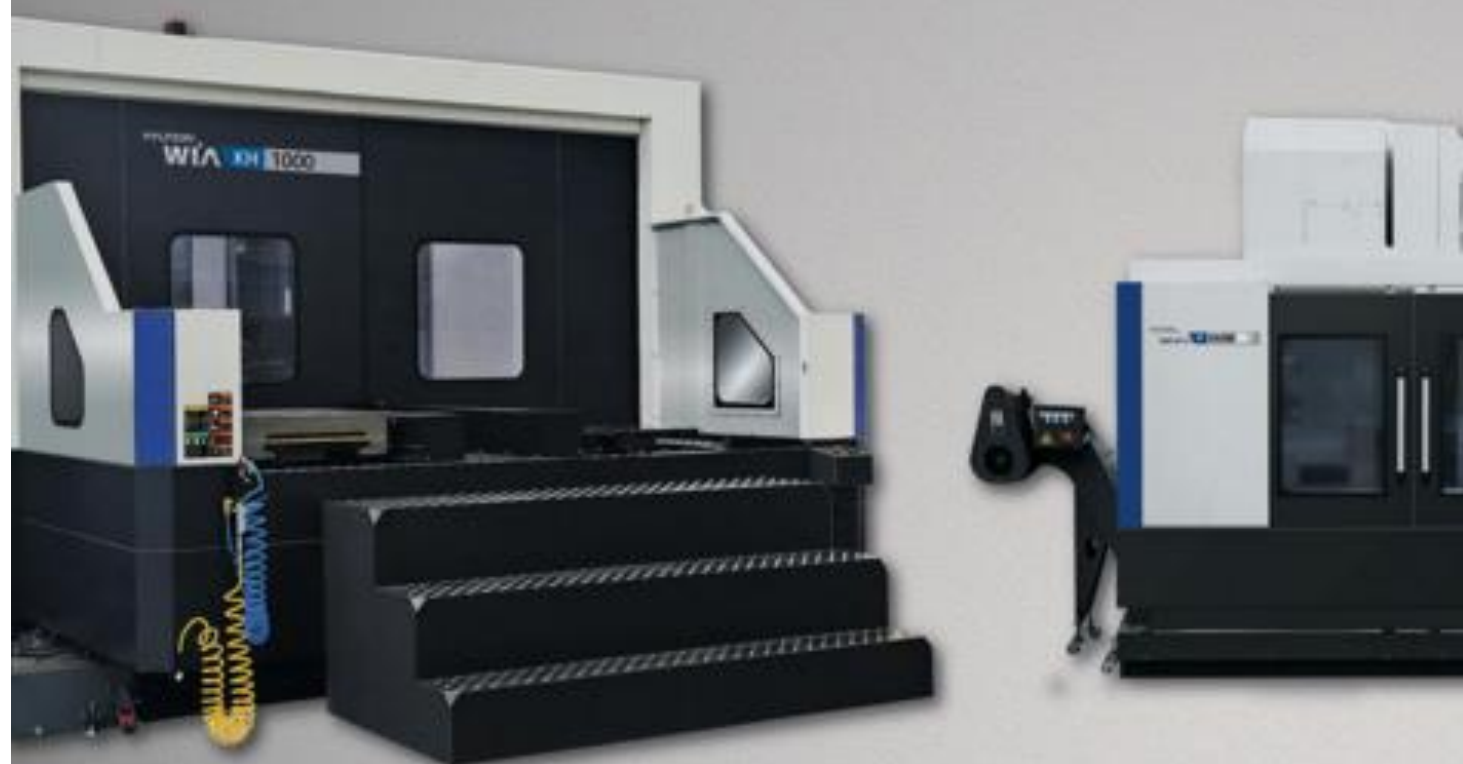
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ №9 (97) 2014

Итальянские станкостроители – в надежде на Россию

Когда предприятию не обойтись без грамотных экспертов

Лазерная функциональная подгонка резисторов

Алмазы для самых сложных способов обработки



Стратегия точности

www.atmt.ru

HYUNDAI
WIA

АЛМАЗНАЯ ОБРАБОТКА — ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ

ВЫСОКАЯ ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ — УНИКАЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА АЛМАЗА, КОТОРЫЕ ПОЗВОЛЯЮТ РАСШИРЯТЬ ПРИМЕНЕНИЕ ЭТОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ САМЫХ СЛОЖНЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ.

В производстве современной наукоёмкой продукции роль обработки, осуществляемой с применением алмазного инструмента, сложно переоценить. Высокая твердость (рис. 1) и износостойкость алмаза выгодно отличают его от других инструментальных материалов, обеспечивают возможность обработки самых труднообрабатываемых материалов.

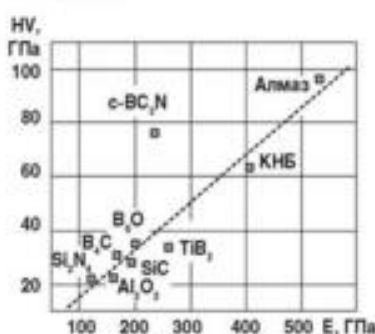


Рис. 1. Твердость и модуль упругости твердых материалов.

Трудно назвать отрасль производства, где бы не использовались технологии алмазной обработки, среди которых лезвийная обработка (точение, фрезерование, сверление и развертывание), абразивная и абразивная финишная обработка (шлифование, сверление, хонингование, суперфиниш, доводка и полирование), правка абразивного инструмента, упрочнение (алмазное выглаживание и вибровыглаживание). Расширению ее применения способствуют как увеличение объема и совершенствование качества синтеза и подготовки алмазного сырья (абразивные шлифпорошки, микропорошки, наноалмазные порошки, синтетические монокристаллические и поликристаллические алмазы, композиционные сверхтвердые материалы, покрытия и др.), так и развитие новых технологий обработки. Наиболее яркими новшествами в этих направлениях являются следующие.

1) Расширение применения высокопрочных и термостойких алмазов, в том числе получаемых по технологиям термохимического осаждения (CVD-алмазы).

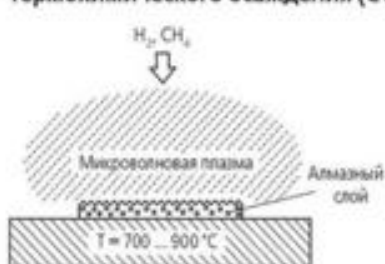


Рис. 2. Схема процесса получения пленок и покрытий из CVD-алмазов.

Метод CVD — одна из новых технологий получения алмазных продуктов путем термохимического осаждения из паровой фазы (рис. 2). Среда из водорода и метана (с избытком водорода) при термическом воздействии микроволновой плазмы, тлеющего разряда или нагрева проволокой разлагается, и атомы углерода осаждаются на специально подготовленной подложке с формированием алмазной структуры. Развитие технологии CVD в последние годы позволило выращивать алмазные



Рис. 3. Поверхность и структура алмазной пленки.

пластины диаметром \varnothing 300 мм и толщиной в несколько миллиметров.

Продукты, получаемые по технологии CVD, используются (рис. 3, 4):

- как исходное сырье для изделий оптики, электроники, микромеханики, медицины;
- для получения крупных поликристаллических алмазных продуктов нового поколения для целей механической и физико-химической обработки (режущие монокристаллические токарные и расточные инструменты, фрезы и сверла для обработки композиционных материалов, правящий инструмент);
- для увеличения (доразживания) мелких кристаллов алмазного сырья, например, от 50...100 до 250...500 мкм;
- для изготовления алмазного абразивного инструмента (кругов, хонов, разверток, притиров, головок для микрообработки);
- для нанесения алмазных покрытий на режущий инструмент и детали.

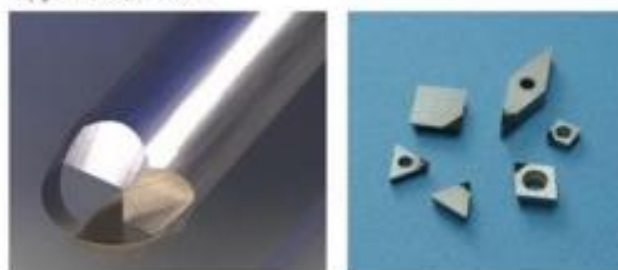


Рис. 4. Фреза для высокоскоростного фрезерования с рабочей частью из CVD-алмаза и твердосплавные пластины с вставками из CVD-алмазов.

2) Одним из эффективных методов повышения износостойкости и производительности алмазного инструмента является **металлизация сверхтвердых материалов** (рис. 5), целесообразность которой доказана отечественной и зарубежной практикой. Заклячая алмазные зерна в металлическую оболочку и заполняя микротрещины, покрытия увеличивают их прочность, что приводит к повышенной стойкости инструмента. Например, прочность алмазных зерен, покрытых никелем, вырастает на 22%. Степень металлизации зерен варьируется от 40% до 100% в зависимости от условий работы круга и вида операции шлифования. Степень металлизации 100% соответствует тому, что масса покрытия, нанесенного на единичное зерно алмаза или КНБ никеля равна массе этого зерна. Дополнительно покрытия защищают алмазную фазу от окисления при спекании в металлических связках, создают развитую поверхность, повышающую сцепление с матричным материалом, что активно используется при изготовлении кругов на орга-

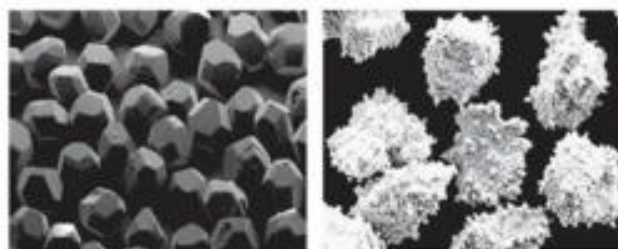


Рис. 5. Алмазы с разной степенью металлизации.

нических связках. Для металлизации алмазов используют вакуумное осаждение, термохимические и гальванические методы.

3) **Новые материалы и конструкции корпусов инструмента**, в частности, из композиционных углерод-углеродных материалов, круги с внутренним подводом охлаждающей жидкости, круги с регулярной структурированной рабочей поверхностью.

4) **Новые технологии формирования алмазного рабочего слоя** (электроразрядное спекание (SPS), селективное лазерное спекание, сверхзвуковое газопламенное напыление (HVOF) (рис. 6), газодинамическое (холодное) напыление, вакуумная пропитка материалом связки в графитовых формах или керамических формах, получаемых с применением выплавляемых моделей и др.



Рис. 6. Инструмент с алмазным рабочим слоем, полученным сверхзвуковым газопламенным напылением.

5) **Новые сверхтвердые композиционные инструментальные материалы** с высоким содержанием алмазной фазы, алмазно-твердосплавные, жаростойкие инструментальные материалы на основе кубического нитрида бора (КНБ) на вольфрам-рениевой, керамических и металлокерамических матрицах. Созданы новые композиционные наноматериалы с объемным содержанием сверхтвердой фазы (алмаз, кубический нитрид бора) до 92%.

В ОАО «ВНИИАЛМАЗ» разработана группа технологий изготовления высоконаполненного материала без использования высоких давлений, основанная на применении мелкодисперсных и нанопорошков упрочняющей фазы и связки (защищены патентами РФ). Аналогами этих материалов являются композиты на металлокерамической и металлической связке, наполненные мелкозернистыми порошками алмазов и/или кубического нитрида бора, а также спеченные поликристаллические сверхтвердые материалы: АСПК, СВСП, Славутин, Эльбор, Бельбор, твердосплавно-алмазный композиционный материал (ТАКМ), а также зарубежные композиты PDC (Polycrystalline Diamond Composite) и TSP (Thermally Stable Polycrystalline Diamond), ABNNC (агрегированный нанокompозит нитрида бора (aggregated boron nitride nanocomposite), BAM (представляет собой комбинацию металлических сплавов бора, алюминия и магния (AlMgB14) с диборидом титана (TiB2).

6) **Модифицирование известных и создание новых связок**. В том числе с использованием наноалмазов и других нанопорошковых материалов, графена с обеспечением равномерного (рис. 7) или функционально-градиентного распределения сверхтвердой фазы.

Перспективны органические связки на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), который является одним из наиболее термостойких полимеров (температура разложения 415°C) и не склонен к вязкотекучести при высоких температурах.

Для снижения удельного износа алмазных шлифовальных кругов и повышения эффективности механической обработки материалов необходимо снижать критические показатели, определяющие стойкость инструмента: силы

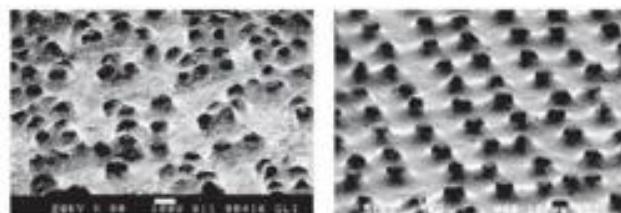


Рис. 7. Расположение алмазных зерен на рабочей поверхности. Произвольное (слева) и равномерное (справа).

трения и температуру в зоне резания. В ОАО «ВНИИАЛМАЗ» исследовано модифицирование органических связок специальными антифрикционными и упрочняющими присадками с добавлением оксида графена, висмута и кобальта. Производственные испытания модифицированных алмазных шлифовальных и отрезных кругов на круглошлифовальном станке 1 М63 «САСТА» при обработке изделий из конструкционной кварцевой керамики «Ниясит» показали, что удельный износ алмазосодержащего слоя у кругов формы 1 А1100х6х20х5 на модифицированной связке меньше в 1,83 раза по сравнению со стандартными кругами, используемыми на производстве. Производительность кругов на модифицированной связке оказалась выше на 26% по сравнению с кругами, произведенными по действующему ГОСТ при соответствии качества поверхности требованиям документации.

Появился новый класс связок, называемых гибридными (органо-металлическими), при использовании которых достигают высокую режущую способность и качество обработки, характерные для инструмента на органических связках, с его стойкостью и надежностью, являющимися отличительными чертами металлических связок. Развивается применение кластерных кругов, в которых кластеры из нескольких алмазных зерен, соединенных связкой одного типа (металлической или керамической), объединены между собой связкой другого типа, например, органической. Это позволяет существенно повысить стойкость и производительность абразивного инструмента.

7) **Приобретение опыта по обработке новых материалов** (композитов на полимерной и металлической основах углерод-углеродных композитов, керамик, керамокомпозитов, графитовых материалов, повышение точности изготовления инструмента, создание новых и совершенствование существующих технологий обработки лезвийным и абразивным алмазным инструментом.

Одной из новых технологий алмазной обработки является технология алмазного точения твердых оптических материалов, позволяющая получать шероховатости поверхности практически свободные от дифракционных явлений, пригодные для использования в видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Эта технология основана на том, что хрупкие материалы проявляют себя как вязкие с удалением стружки, по характеру приближающейся к сливной. Удаление нанослоев материала толщиной 100...400 нм может быть рассчитано по критерию Н. Вифано:

$$d_c = \varphi \left(\frac{E}{H} \right) \left(\frac{K_c}{H} \right)$$

где d_c — максимальная толщина слоя, в котором проявляется эффект; φ — коэффициент, зависящий от геометрии режущей части инструмента; E — модуль упругости обрабатываемого материала; H — твердость обрабатываемого материала; K_c — коэффициент, учитывающий энергетические свойства поверхности.

В результате обработки на специальном оборудовании, оснащенном механизмами малых перемещений и ультраточными шпинделями, получают наноразмерную шерохо-

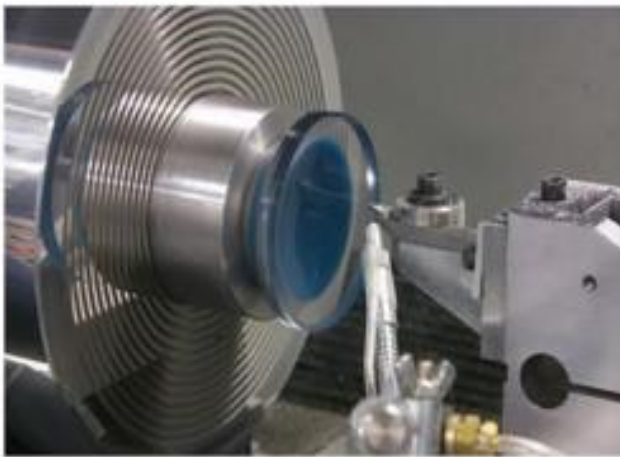


Рис. 8. Алмазное точение деталей оптики.

ватость. Обработка выполняется с подачами, не превышающими $2,5 \text{ мкм/об}$.

В последние годы интенсивно развиваются процессы микрообработки (*micro machining*), имеющие целью производство мелкоразмерных деталей и обработку прецизионных мелкоразмерных элементов самых различных отраслей: электроника, медицинская техника, аэрокосмическое машиностроение, предприятия ВПК, ювелирная и часовая промышленность. Для этих целей используют технологии травления, лазерной, электронно-лучевой и ионно-лучевой обработки, электроэрозионной и электрохимической микрообработки, механической лезвийной абразивной и ультразвуковой обработки. Ведущими фирмами в области создания технологий и оборудования для микрообработки являются: Micro Systems Ltd., CIP, Surface Technology Systems, West Midlands Micro-Machining Centre (Великобри-

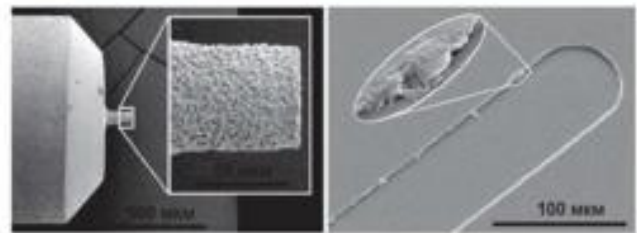


Рис. 9. Инструмент из проводящего синтетического алмаза, полученный электроэрозионной обработкой и обработанный участок поверхности стекла.

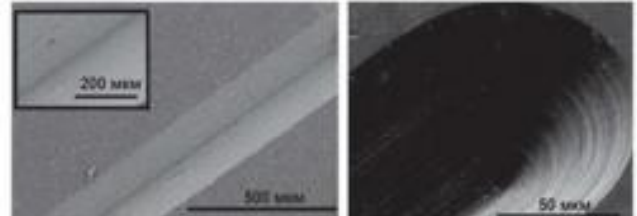


Рис. 10. Канавка, полученная фрезерованием на стекле алмазной фрезой.

тания), Chuan Liang, Emuge, Datron Dynamics Inc., Remmele Engineering (США), BIG Kaiser Precision Tooling Inc., DMG, Kern (Германия), Takeda Sangyo Co. LTD., Sony (Япония), EV Group, Австрия, Realtek Австралия и др.

Одним из важнейших направлений микрообработки становится механическая лезвийная и абразивная обработка, выполняемая малоразмерными алмазными инструментами (рис. 9, 10, 11, 12). Она незаменима при изготовлении сложнопольных деталей и получения прецизионных отверстий. Алмазный малоразмерный инструмент применяют при изготовлении изделий из стекла, керамики, фер-



Рис. 11. Инструмент, изготовленный ЗСО.

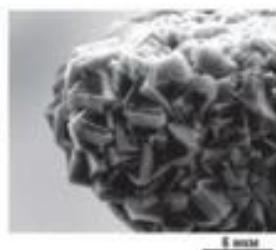


Рис. 12. Рабочая часть инструмента для микрообработки, полученная по технологии CVD.

ритов, кремния, германия, цветных поделочных камней, твердых сплавов и других материалов.

Для изготовления корпусов малоразмерного инструмента часто используют электроэрозионную обработку, позволяющую, за счет отсутствия контактного взаимодействия с обрабатываемой деталью, получать рабочие части инструментов диаметром от 25 мкм. Для нанесения рабочего слоя на инструмент, в зависимости от назначения и размеров последнего, применяют: гальваническое осаждение, электрофоретическое осаждение, клеевое нанесение, напайку и электроэрозионную обработку алмазных спеков, осаждение алмазоподобных покрытий по технологиям CVD и PVD.

Одним из путей увеличения производительности и качества шлифования является использование технологии высокоскоростного шлифования. Она даст возможность увеличить производительность обработки по удалению материала в 10 и более раз, уменьшить силы шлифования, устранить остаточные напряжения и прижеги, снизить энергоемкость. Высокоскоростное шлифование выполняется кругами с суперабразивами на гальванической и металлической связках. Обычно шлифование производится со скоростью резания 30...35 м/с. При высокоскоростном шлифовании скорость резания находится в диапазоне 100...200 м/с. Увеличение скорости шлифования позволяет увеличить стойкость кругов и улучшить качество поверхностного слоя. Круги не нуждаются в заточке. Возможность обработки на больших скоростях обеспечивается тем, что основы кругов выполнены из металла. Современная технология получения стальных однослойных алмазных и КНБ кругов обеспечивает точность их изготовления – 0,015 мм, а в ближайшие годы планируется достигнуть точности 0,005 мм. Возможна обработка элементов поверхностей с радиусами скругления до 0,5 мм. Следует отметить, что элементы профиля круга могут иметь радиус от 0,13 мм. Такие круги не требуют правки. Корпус круга выполняется из термостойкой стали, а его рабочие поверхности покрываются в один слой зернами суперабразива. В качестве связки используется гальванический никель, разработаны также технологии пайки рабочего слоя. Погрешность рабочих профилей круга после покрытия не превышает 2–3 мкм, что позволяет обрабатывать зубчатые колеса особо высокой точности. Высокая точность кругов достигается за счет использования одинакового размера зерен кубического нитрида бора и технологии их закрепления. По истечении установленного срока службы покрытие может регенерироваться. Эта операция может повторяться до 20 и более раз. В табл. 1 приведена сравнительная характеристика процессов шлифования.

Отдельные кристаллы суперабразива выступают над связкой на 40...50% их размера, что обеспечивает эффективный выход стружки и подвод СОЖ.

При высокоскоростном шлифовании однослойными кругами из суперабразивов, этот процесс еще называют

Таблица 1.

Параметр	Традиционное	Глубинное	Высокоскоростное глубинное
Глубина резания, мм	0,001...0,005	0,1...30	0,1...30
Скорость резания, м/с	20...60	20...60	80...200
Скорость удаления материала, мм ³ /мм·с	0,1...10	0,1...10	50...2000
Скорость подачи, м/мин	1...30	0,5...5	0,5...10

высокоэффективным глубинным шлифованием (high-efficiency deep grinding), образуется микростружка, подобная по форме и типу стружке, получаемой при фрезеровании. Использование высоких скоростей резания и подачи и относительно большая глубина резания при шлифовании КНБ позволяет обрабатывать твердые стали титановые и никелевые сплавы с производительностью того же порядка, что и фрезерование обычных сталей, например, с глубиной резания 10 мм при ширине обработки 100 мм и подаче 76 мм/мин.

Станки для обработки кругами из суперабразивов, например Edgetek, имеют повышенную мощность (26 кВт) при частоте вращения шпинделя до 14000 об/мин, высокую жесткость и демпфирующую способность. При диаметре круга 152 мм скорость резания составляет 112 м/с, что в четыре раза превышает скорость резания при традиционном шлифовании. В качестве СОЖ, подаваемого под высоким давлением из нескольких сопел, обычно используют машинное масло или масляную эмульсию. При обработке в таких условиях только 4% выделяющегося тепла уходит в обрабатываемую деталь (для сравнения это доля при обычном шлифовании составляет 60...70%). Меньшее термическое воздействие позволяет избежать формирования растягивающих остаточных напряжений. На обработанных деталях практически отсутствуют заусенцы, характерные для обычного шлифования, например никелевых сплавов.

Наиболее широкое применение этот процесс нашел в производстве зубчатых колес для шлифования зубчатых венцов по сплошному металлу или после предварительного формообразования зубьев и термической обработки.

Высокоскоростное шлифование никелевых сплавов обеспечивает производительность на 50...80% большую, чем фрезерование. Обычно обработка выполняется за 1 или 2 прохода кругами диаметром 152,4 или 203,2 мм.

Применение этой технологии дает возможность обрабатывать все стороны замка литой лопатки турбины из никелевого сплава за 3...4 минуты, причем один круг без потери точности обеспечивает обработку – 1500 замков.

Очевидно, что в рамках этой статьи невозможно рассмотреть все новые направления алмазной обработки. Их множество. Некоторые из них: обработка в магнитореологических алмазных средах, новые технологии доводки притирами из сверхтвердых материалов, внешнего и внутреннего хонингования, ультразвуковая обработка вращающимся алмазным инструментом, находятся как в стадиях расширяющегося применения, так и в стадиях развития и исследований.

ОАО «ВНИИАЛМАЗ»
Алексей Георгиевич Бойцов
Валерий Борисович Дудаков
Михаил Игоревич Шкарупа