



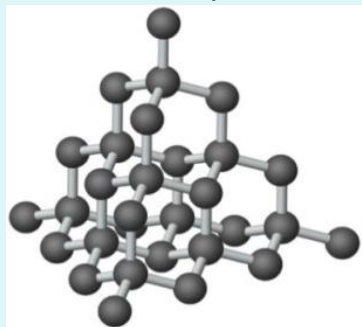
«Применение технологий алмазной и специальной обработки деталей машиностроения, инструментов, неметаллических, строительных и композиционных материалов»

Докладчик:

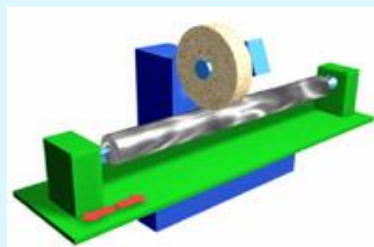
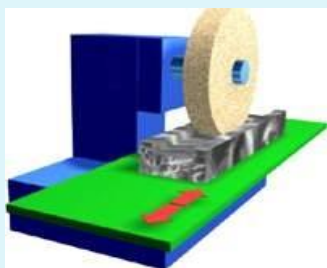
Зав. лабораторией, к.т.н., Ph.D. Шкарупа Михаил Игоревич

Москва 2016

- ❑ Анализ алмазного сырья, разработка технологий получения сверхтвердых материалов и композиционных материалов на их основе, производства лезвийного и абразивного инструмента проектирование и изготовление специального алмазного инструмента, мелкосерийное производство широкой номенклатуры стандартного инструмента



- ❑ Разработка новых технологий основанных на применении инструмента из сверхтвердых материалов



- ❑ Научные исследования и разработки по проблеме «Сварка трением»

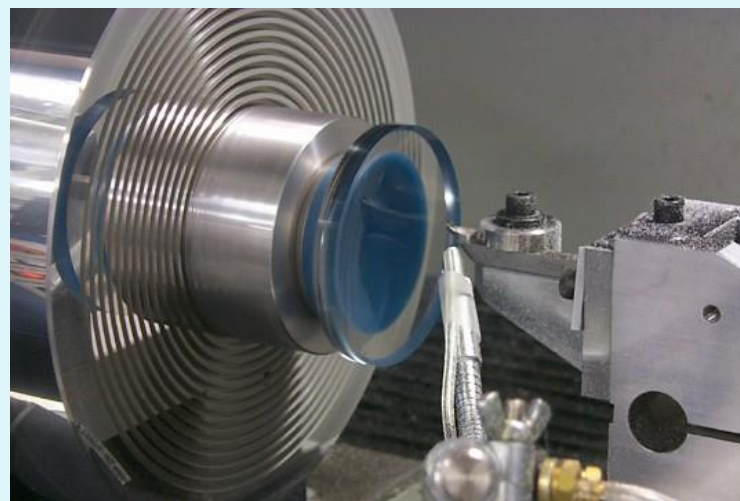
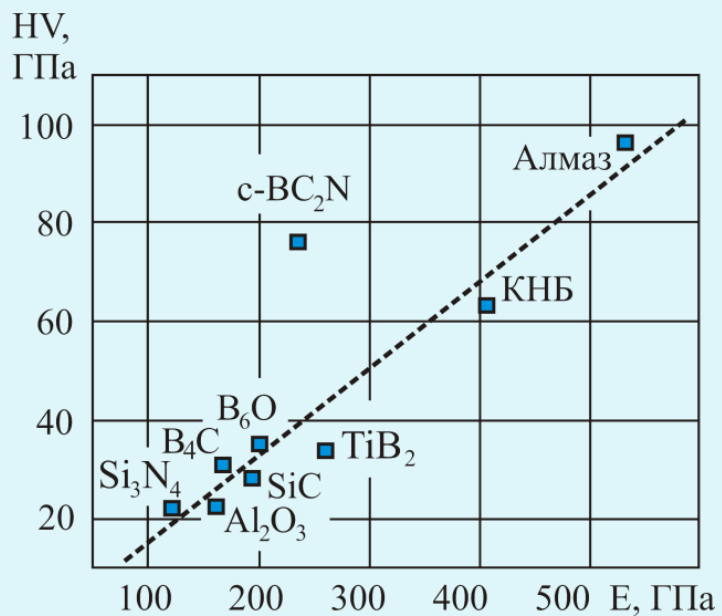


Основные партнеры института

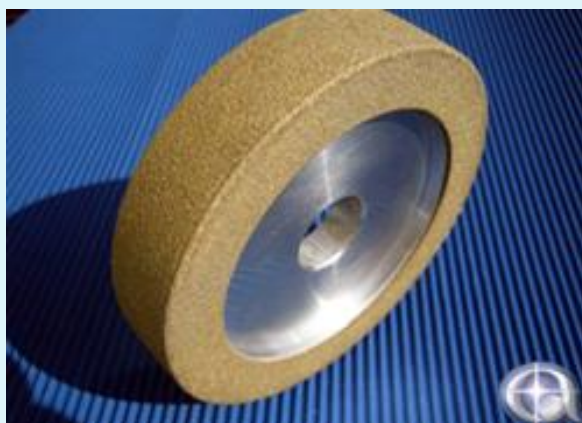
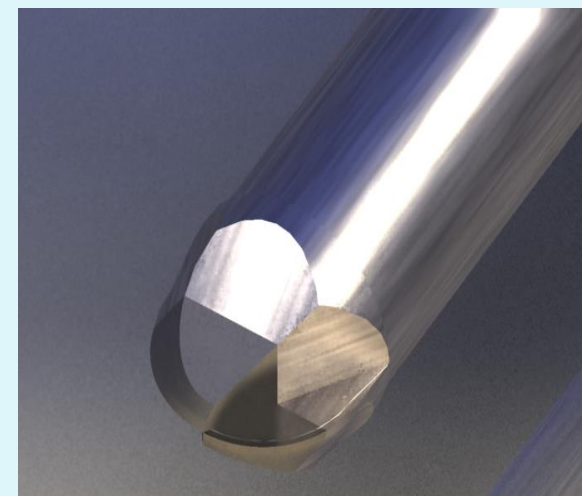


Важнейшие области применения сверхтвёрдых материалов:

1. Инструмент для обработки керамик, керамокомпозитов, сплавов тугоплавких металлов, закаленных материалов, жаростойких сплавов на никелевой и кобальтовой основе, композиционных материалов, природного и искусственного камня, бетонов.
2. Инструмент для бурения твердых пород.
3. Специальные износостойкие детали, элементы, наплавки и покрытия.
4. Функциональные и теплоотводящие подложки электронных компонентов.
5. Инструмент для правки абразивных кругов.
6. Упрочнение поверхностным пластическим деформированием.
7. Алмазные хирургические скальпели.
8. Алмазные магнитореологические суспензии, полировальные, доводочные и притирочные пасты.
9. Сверхтвердые притиры.
10. Теплоотводящие пасты из алмазов детонационного синтеза.
11. Инструменты для микрообработки, иглы (зонды) атомно силовых и туннельных микроскопов, наконечники приборов измерения твердости.



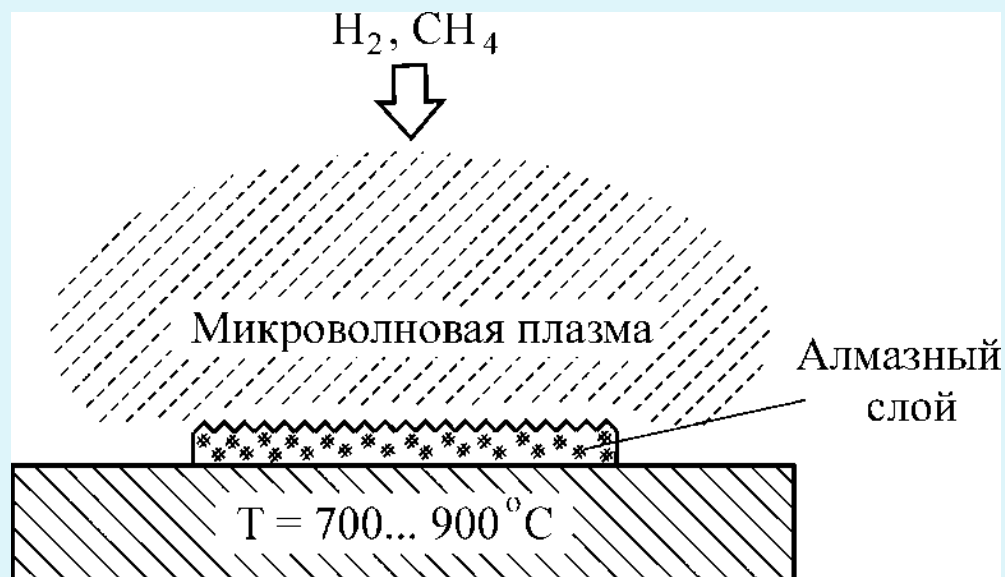
Алмазное точение деталей оптики



Инструмент с алмазным рабочим слоем, полученным сверхзвуковым газопламенным напылением

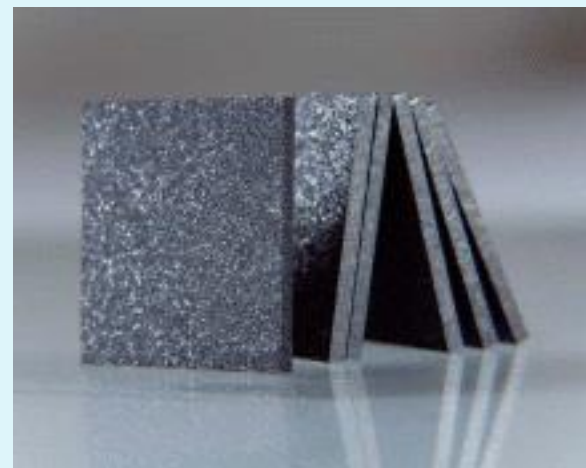


Фреза для высокоскоростного фрезерования с рабочей частью из CVD-алмаза и твердосплавные пластины с вставками из CVD-алмазов



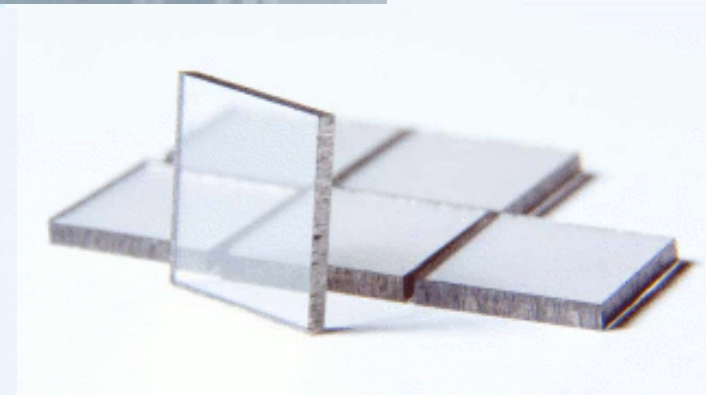
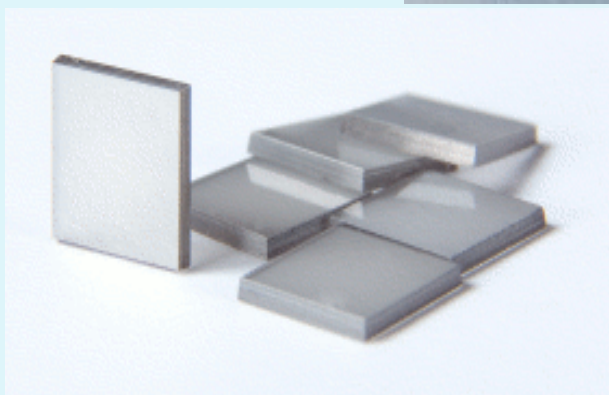
Потребители:

отрасли машиностроения, электроники, здравоохранения, стройиндустрии



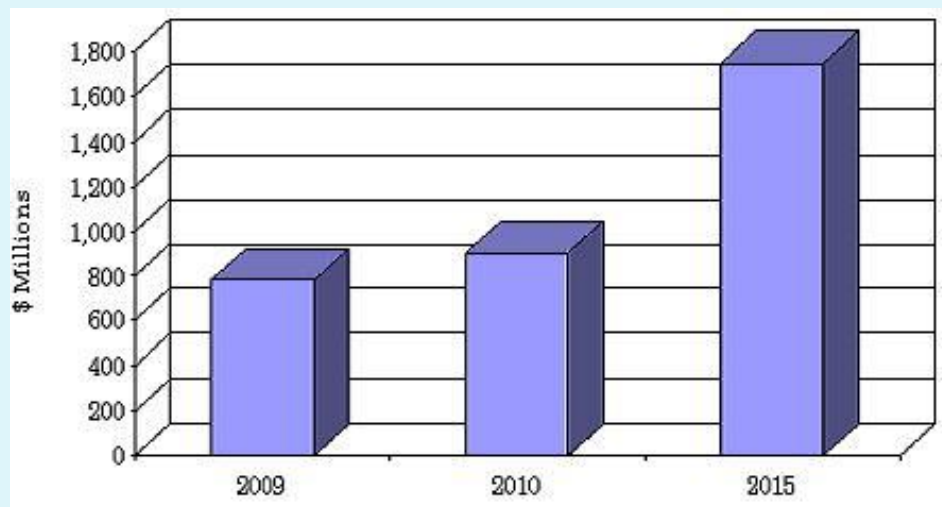
CVD — одна из новых технологий получения алмазных продуктов путем химического осаждения из паровой фазы.

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.



Объем и динамика рынка

Мировой рынок CVD алмазов:
Report ID: AVM025F



Report ID: AVM025F

Рост потребности в продуктах производимых с использованием CVD-пленок для основных сегментов рынка: инструмент, электроника, износостойкие детали в 2006 году составил 75 % а до 2015 года находился в пределах 70 %.

Рынок алмазоподобных и КБН – покрытий составил в 2006 году 330 миллионов долларов, т.е примерно 70% рынка пленок.

Согласно Global CVD Diamond Industry Report 2014:

Мировой рынок:

- в 2001 году – 286 миллионов долларов
- в 2013 году 1092,52 миллионов долларов
- Средний рост 23,5% в год.

Рынок США:

- в 2001 году – 125 миллионов долларов
- в 2013 году – 437 миллионов долларов
- Рост 20,8 % в год

Рынок Японии:

- в 2001 году – 75 миллионов долларов
- в 2013 году – 430,5 миллионов долларов
- Рост 39,5% в год

Рынок Европы:

- в 2001 году – 23 миллиона долларов
- в 2013 году – 98 миллионов долларов
- Рост 27,2% в год

Рынок Китая:

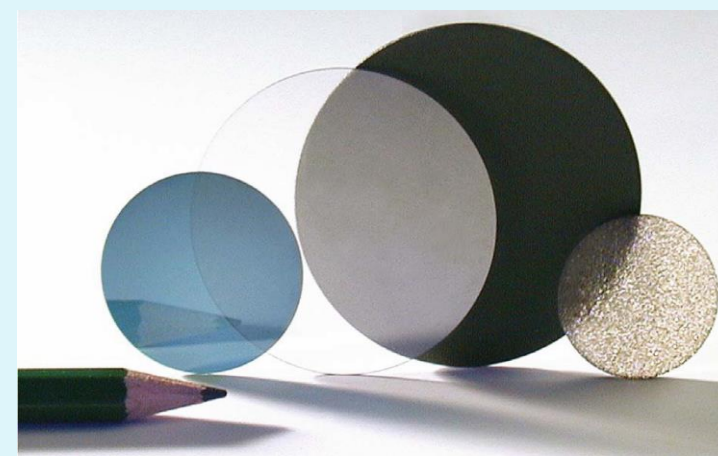
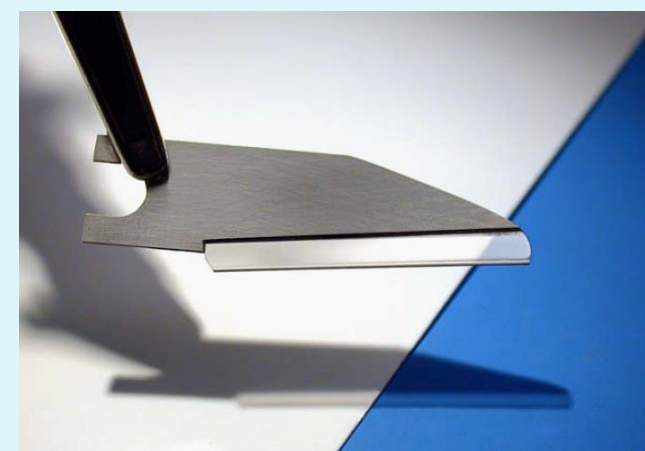
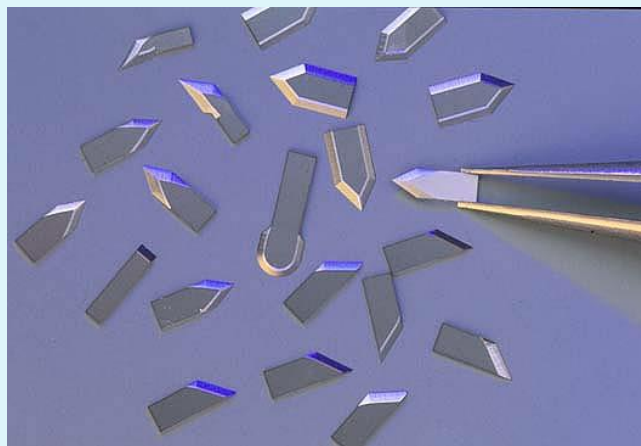
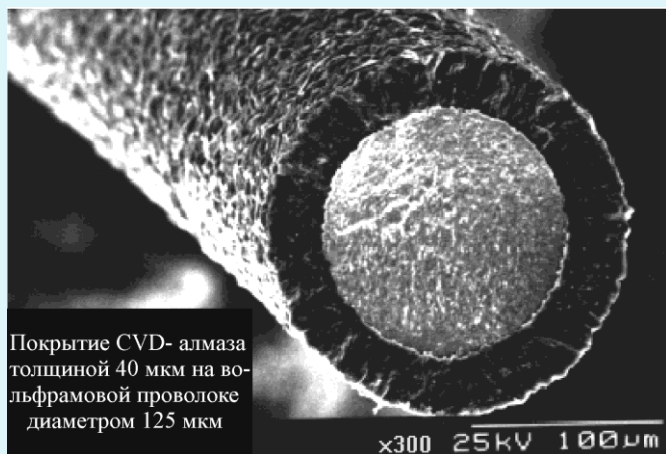
- в 2001 году – 1 миллион долларов
- в 2013 году – 234 миллионов долларов
- Рост 1950% в год.

Применение CVD - алмазов

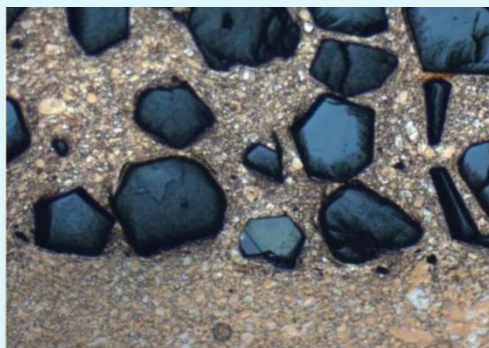
Основные области применения алмазных CVD пленок и покрытий:

- Получение пластин из алмазов, новых алмазоподобных материалов и композитов для изготовления режущего и правящего инструмента.
- Нанесение алмазных и алмазных наноструктурных покрытий на лезвийный инструмент для обработки материалов повышенной абразивности (композиционные материалы на металлической, полимерной и керамической матрицах, керамики, дисперсно-упрочненные материалы, деревообработка, алюминиевые сплавы).
- Износостойкие антифрикционные покрытия деталей. Композиционные многослойные сверхтвердые покрытия.
- Изготовление размерного абразивного инструмента для финишной обработки высокоточных отверстий (алмазные развертки, хоны).
- Электропроводные алмазы с возможностью их обработки электроэрозионным способом.
- Получение тонкопленочных и толстопленочных алмазных продуктов для задач оптики, электроники, микромеханики, медицины, физико-химической обработки.
- Увеличение (доращивание) мелких кристаллов алмазного сырья, например, от 50...100 микрон до 500...2000 микрон
- Композиционные и специальные материалы: алмазные волокна и композиционные волокна.
- Медицина: хирургические ножи, обработка контактных линз
- Электроника: теплоотводы, датчики ультрафиолетового и ионизирующего излучения, полупроводниковые активные элементы электронной техники (диоды Шоттки, полевые транзисторы и др.) на основе гомоэпитаксиальных алмазных пленок, микроволновые интегральные схемы, теплостойкие лазерные диоды.
- Оптика: ножи для резки оптического волокна, окна для пропускания инфра-красного, лазерного и рентгеновского излучений, алмазные покрытия стекол.
- Ювелирное использование (искусственные бриллианты, декоративные пленки и покрытия)

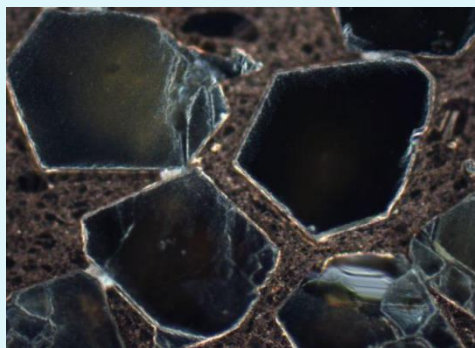
Применение CVD -алмазов



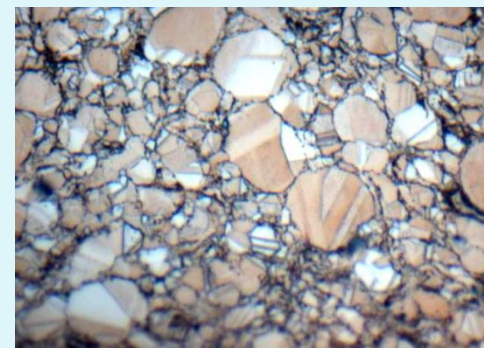
Разработки в области получения новых сверхтвёрдых композиционных материалов



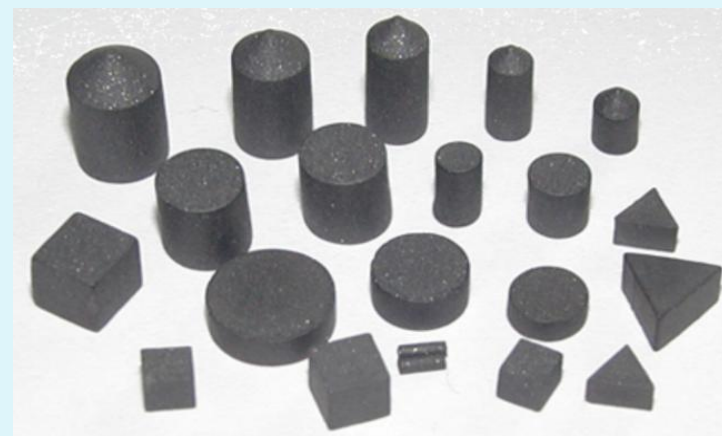
50% алмазов



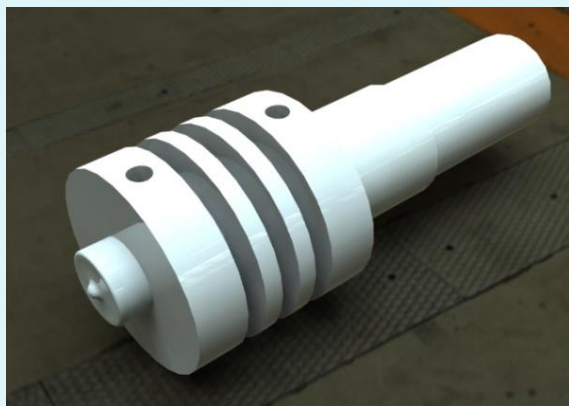
70% алмазов



90% алмазов



Разработан новый композиционный сверхпрочный материал с объёмным содержанием алмазной фазы до 92%. Такие технологии не требуют высоких давлений и защищены патентами РФ.



Сварка нержавеющей стали 12Х18Н10Т

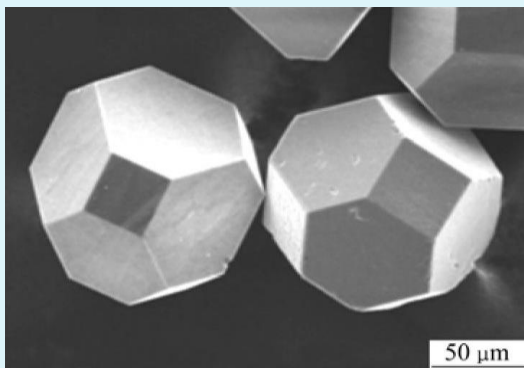


Инструмент для сварки трением из сверхтвердых жаростойких композитов и керамик, конструкции АО «ВНИИАЛМАЗ»

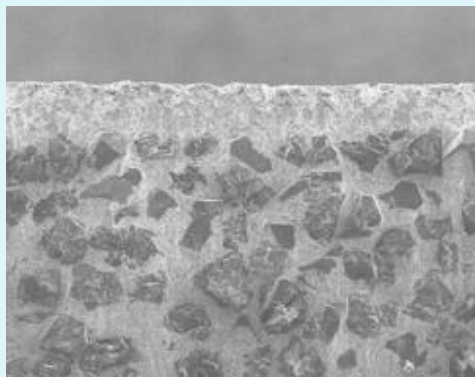


Сварка титанового сплава ВТ-6

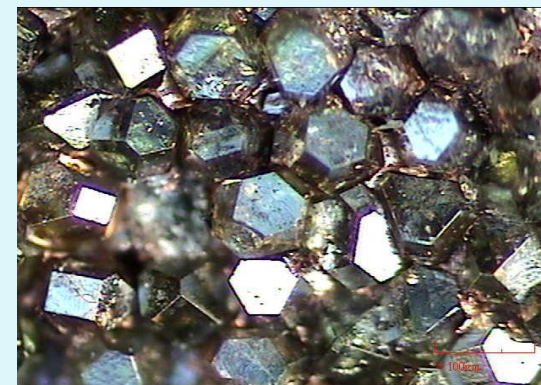
Внутренняя структура металло-алмазных теплопроводных композитов



Форма алмазных частиц



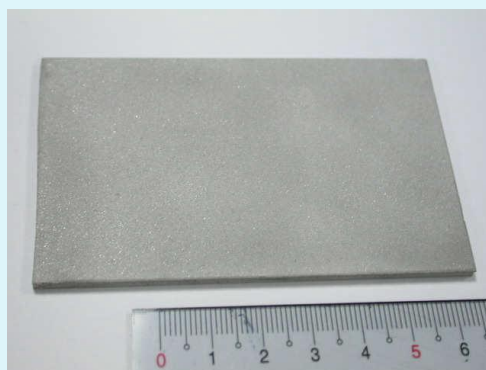
Инфильтрация
серебра в алмаз



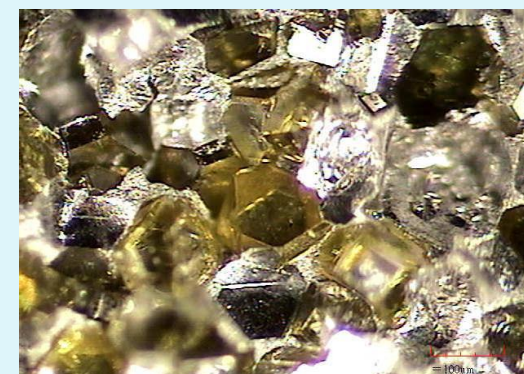
Структура спёка алмаза и меди



медь-алмазный теплоотвод

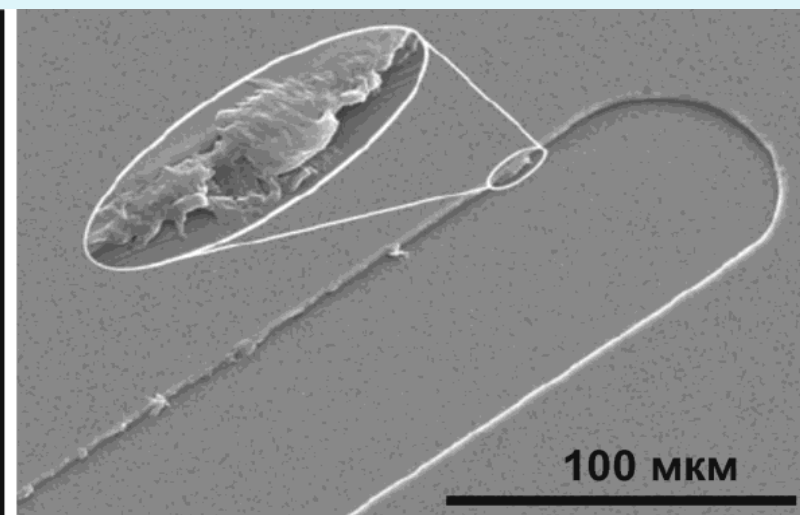
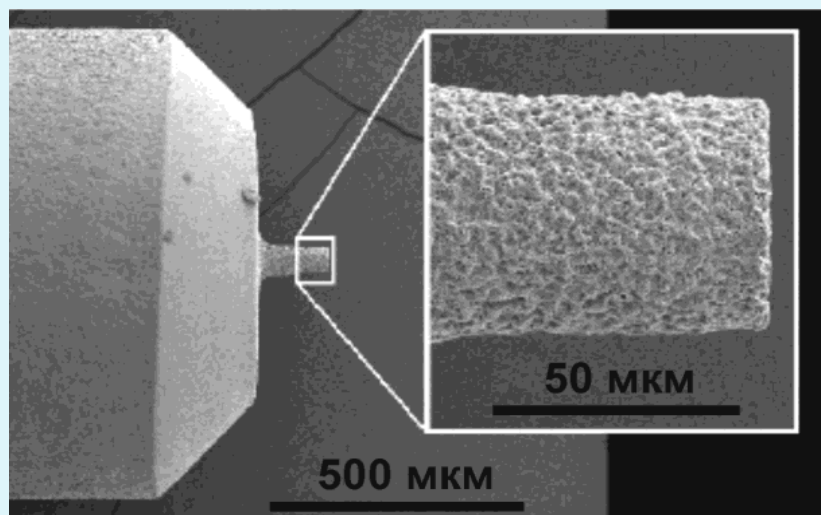
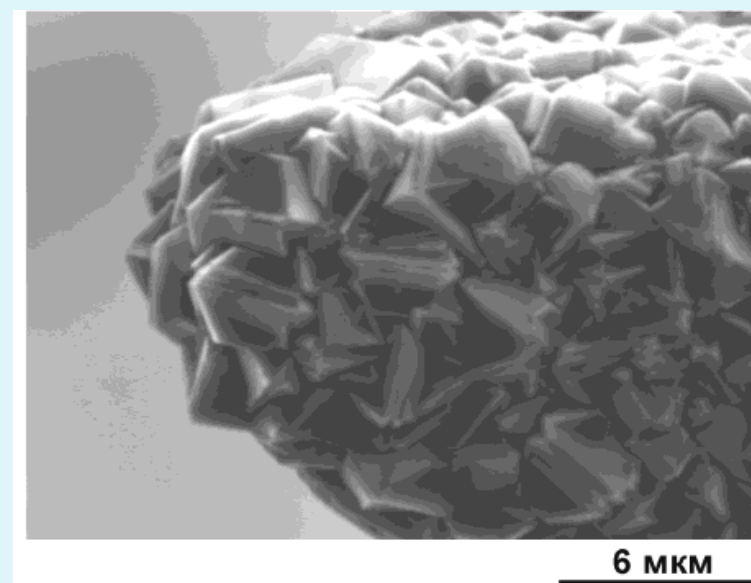
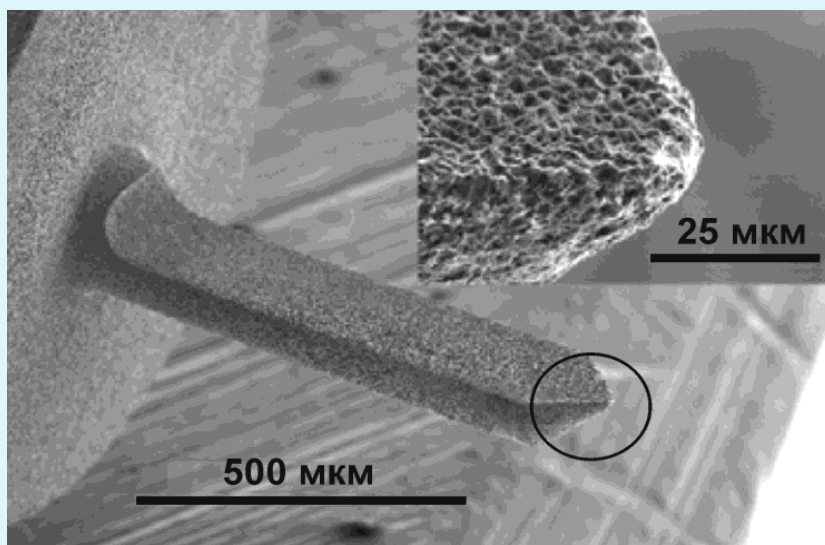


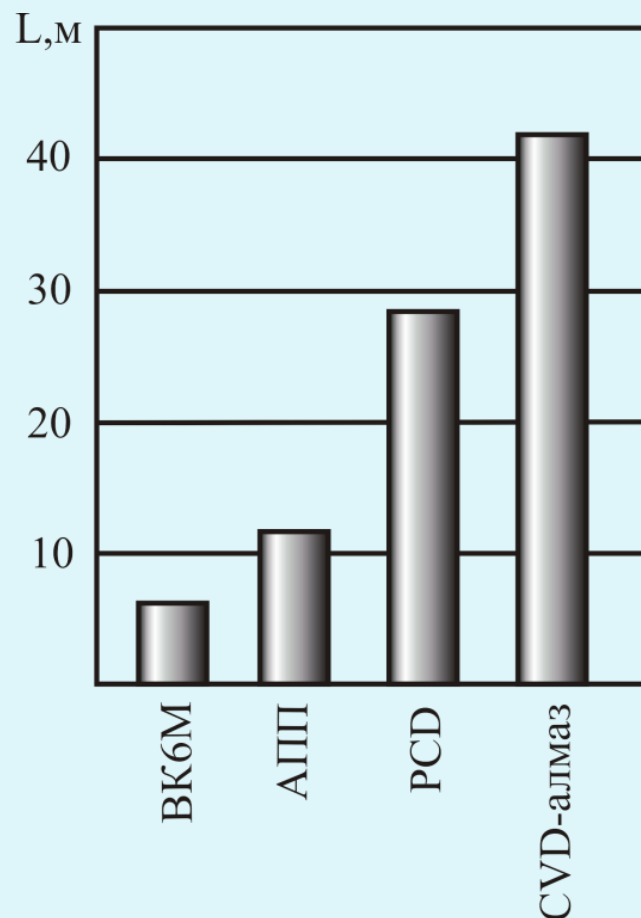
алюминий-алмазный
теплоотвод



Структура спека
алмаза и алюминия

Инструменты для микрообработки





Наиболее часто для изготовления изделий из КМ применяют лезвийные и абразивные методы механической обработки. Для изделий из керамокомпозитов и углерод-углеродных материалов используют ультразвуковую обработку и ультразвуковую обработку вращающимся алмазным абразивным инструментом.

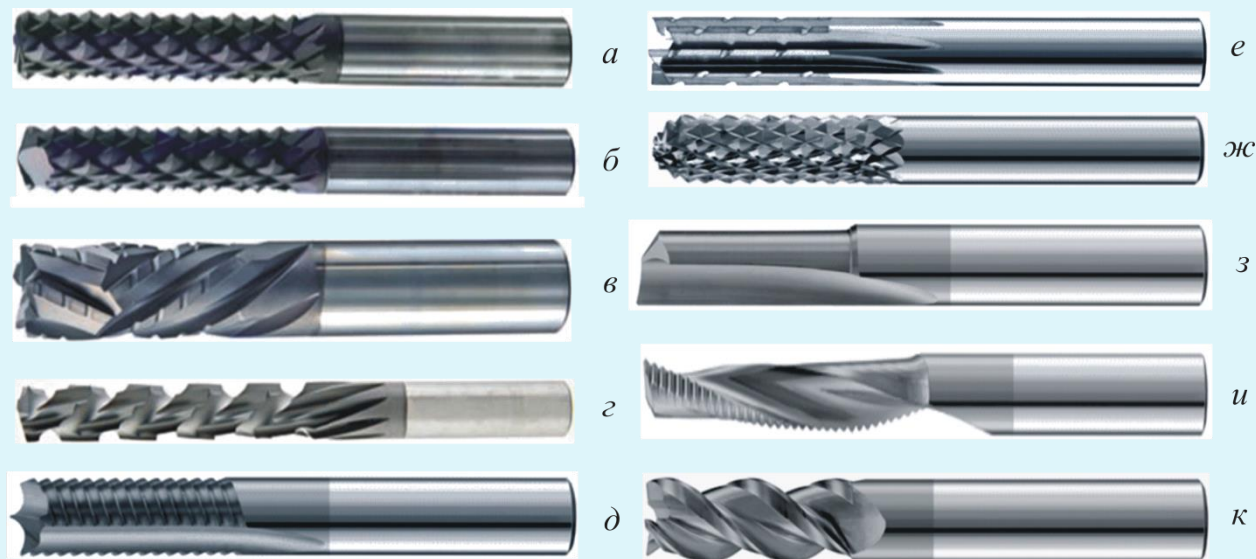
При обработке материалов, обладающих высокой абразивностью, целесообразно использование сверл с рабочей частью из поликристаллических спеченных (PCD) или CVD-алмазов, а также с алмазными покрытиями, многократно повышающими стойкость инструмента из быстрорежущих сталей и твердых сплавов

Необходимо создать многономенклатурное производство специализированного инструмента для обработки композиционных материалов, а именно:

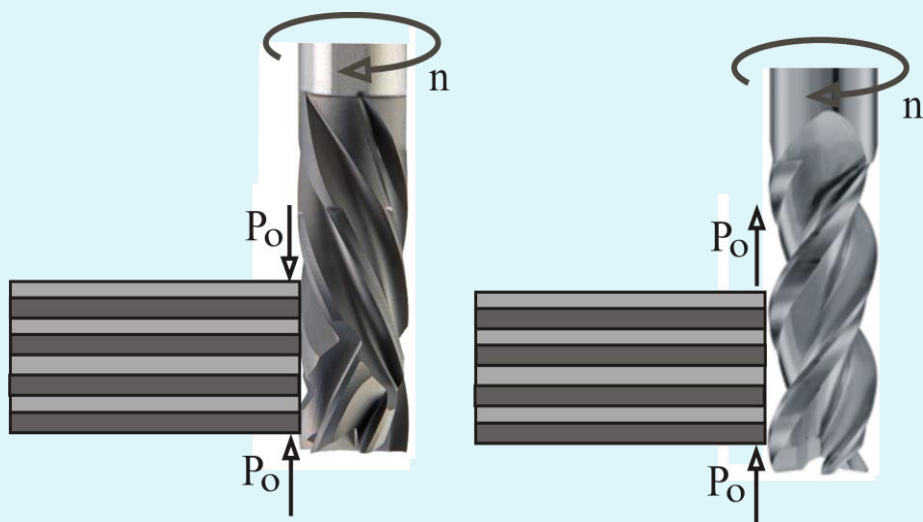
- твердосплавного инструмента и борфрез с алмазными покрытиями для обработки композиционных материалов на полимерной матрице;
- алмазного лезвийного инструмента с режущими элементами из поликристаллических спеченных и CVD алмазов для обработки композиционных материалов на полимерной и углеродной матрице, гибридных материалов и сотовых панелей;
- алмазного абразивного инструмента (кругов и борфрез) для обработки керамических материалов, керамокомпозитов, углерод-углеродных материалов



Необходимо организовать производство твердосплавных фрез с алмазными покрытиями, конструкции которых приведены на рисунке: *а* – борфреза с перекрестной насечкой; *б* – борфреза с перекрестной насечкой и сверлом; *в* – фреза с разнонаправленными спиральными канавками; *г* – многозубая фреза с большим углом наклона стружечных канавок; *д* – борфреза с обратным режущим торцом; концевая фреза с прямым зубом и стружкоразделительными канавками; *ж* – сферическая концевая фреза с перекрестной насечкой; *з* – концевая фреза $Z=1$ прямой зуб для высокоскоростной чистовой обработки; *и* – однозубая концевая фреза для высокоскоростной обработки $Z=1$ правая спираль, прерывистая режущая кромка; *к* – концевая фреза $Z=3$ спираль 45° с неравномерным шагом режущих кромок. Как показывает практика, эти фрезы являются наиболее эффективным инструментом для обработки изделий из композиционных материалов на полимерной и углеродной матрицах.



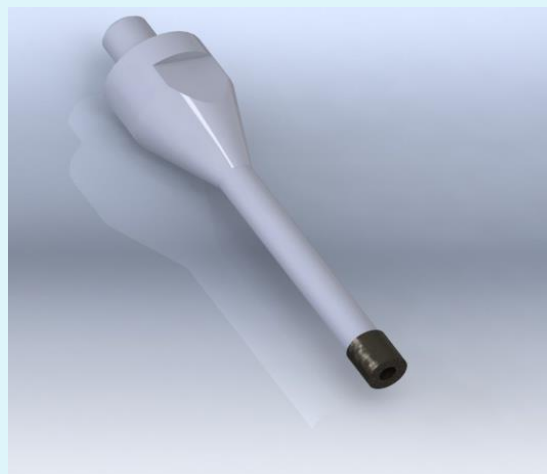
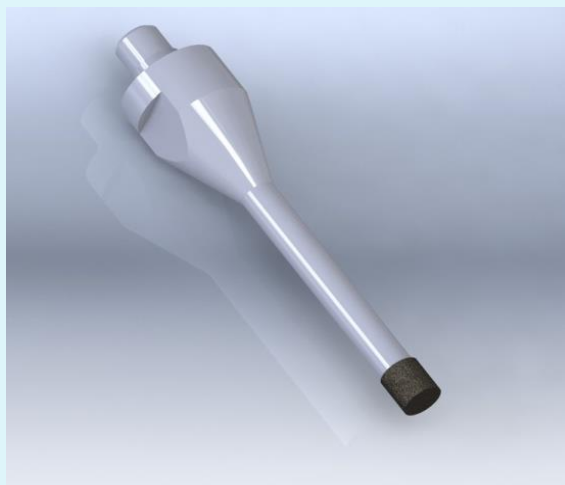
Широко применяется обработка борфрезами с перекрестной насечкой образующей системы прерывистых режущих кромок, обеспечивающих обработку КМ при малых силах резания. Для чистовой обработки контуров деталей используют однозубые фрезы. Контурную обработку сравнительно толстого листового материала выполняют фрезами с разнонаправленными спиральными канавками, рис *в*, которые позволяют избежать расслоения материала, поскольку осевые силы резания, возникающие при обработке, сжимают поверхностные слои сверху и снизу листа.



Направления действия осевых сил резания при фрезеровании фрезами с разнонаправленными спиральными канавками (слева) и при обработке обычной концевой фрезой (справа)

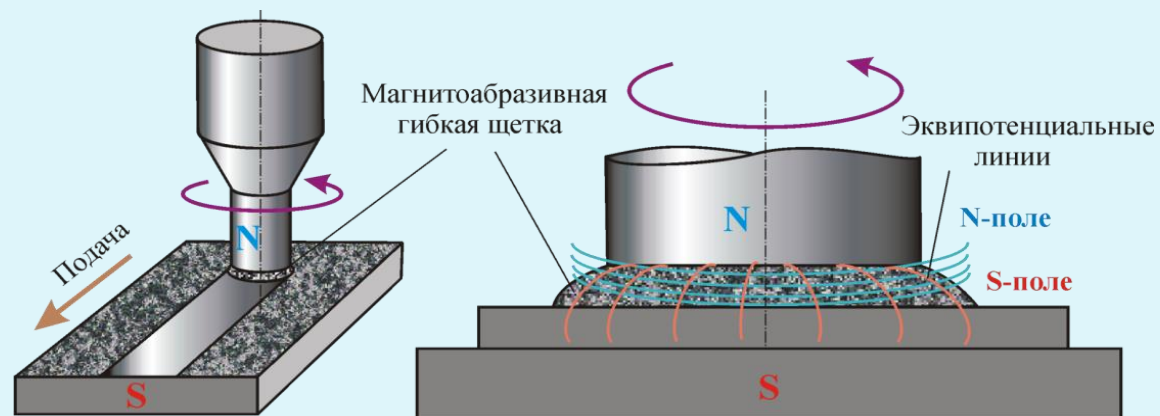


Алмазный инструмент для обработки композитов.



Опытные образцы инструмента для ультразвуковой обработки вращающимся инструментом, изготовленные в АО «ВНИИАЛМАЗ» для НПО «Техномаш»

Принципиальная схема обработки на станке SKAMO-1/300



Станок SKAMO-1/300



Ультразвуковая финишная обработка в
магнитоэрологической алмазной наносuspension

Отделочная обработка поверхностей с помощью магнитореологических абразивных суспензий имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами финишной обработки, используемыми для сложнопрофильных поверхностей:

- Вязкость рабочей среды, определяющую давление абразивных частиц на обрабатываемую поверхность, можно в широком диапазоне регулировать изменением величины магнитного поля;
- Эффективное охлаждение зоны обработки;
- Высокая производительность с обеспечением минимальной шероховатости нанометрического уровня;

Исследования выполнялись на установке СКАМО-1/300 оснащенной ультразвуковой головкой, на которую устанавливался образец. Обработка выполнялась в стальном стакане с магнитореологической суспензией состоящей из частиц карбонильного железа с дисперсностью 50...100 мкм и алмазного микропорошка и аэросила в углеводородной жидкости. Магнитное поле создавалось электромагнитом. Образец в процессе обработки совершал ультразвуковые колебания с частотой 20 кГц при амплитуде 400 мкм. Выполнены исследования по влиянию состава магнитореологической суспензии, плотности магнитного потока, зернистости алмазного порошка на качество поверхностного слоя образцов из стали Р6М5, твердого сплава ВК6М и титанового сплава ВТ6.

Установлено, что обработка в алмазных магнитореологических суспензиях позволяет в течении 3...5 минут уменьшить шероховатость поверхности с $Ra = 0,63$ мкм до $Ra = 0,01$ мкм, причем, в зависимости от планируемого результата, возможна как одноступенчатая, так и многоступенчатая обработка в суспензиях различного состава и зернистости абразива.

Разработаны технологические схемы практической реализации ультразвуковой финишной обработки в магнитореологических алмазных суспензиях для обработки поверхностей деталей различной формы и размеров, в частности, лопаток компрессора и турбины, внутренних поверхностей. Эти технологии могут эффективно применяться и для доводки граней режущего инструмента.

Для снижения удельного износа алмазных шлифовальных кругов и повышения эффективности механической обработки материалов необходимо снижать критические показатели, определяющие стойкость инструмента: силы трения и температуру в зоне резания.

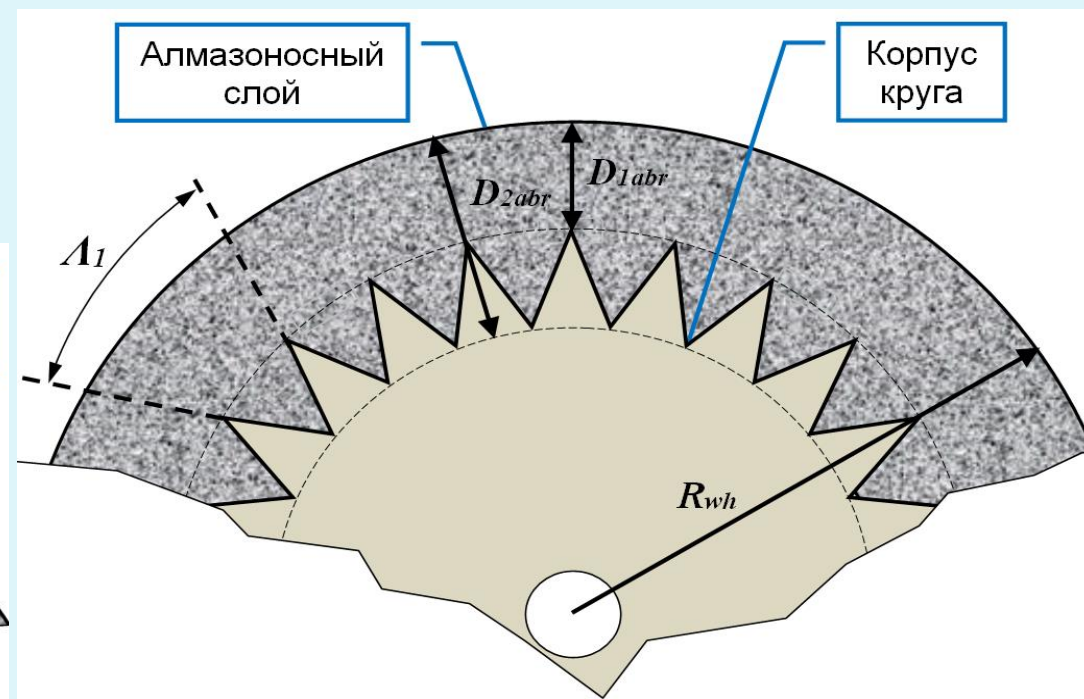
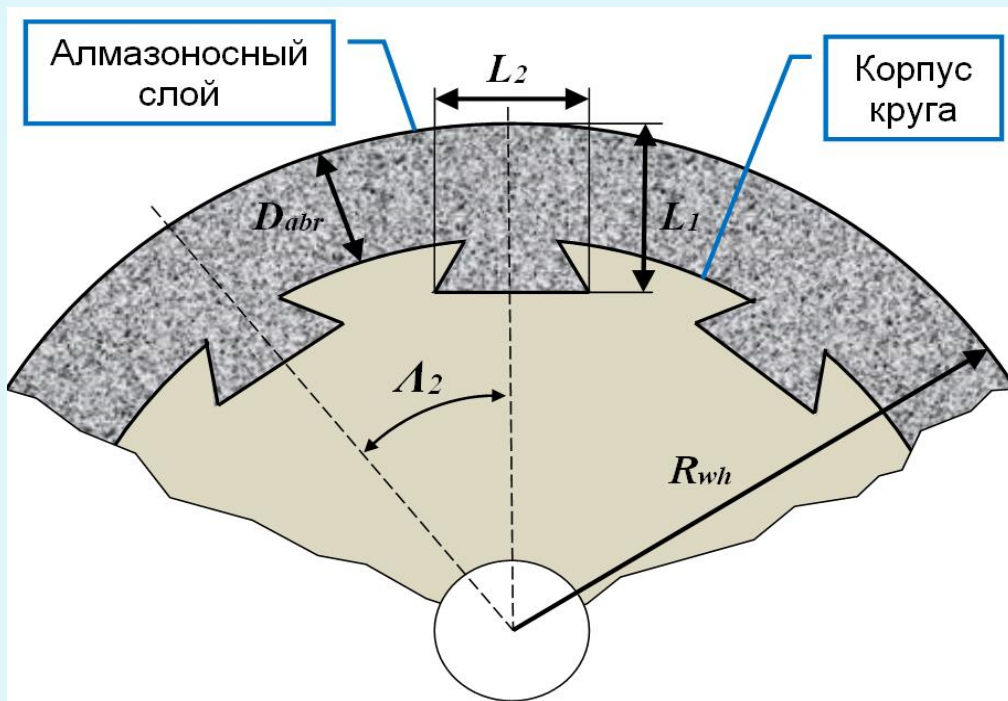
В АО «ВНИИАЛМАЗ» исследовано модифицирование органических связок специальными антифрикционными и упрочняющими присадками с добавлением оксида графена, висмута и кобальта. Производственные испытания модифицированных алмазных шлифовальных и отрезных кругов на круглошлифовальном станке 1М63 «САСТА» при обработке изделий из конструкционной кварцевой керамики «Ниясит» показали, что удельный износ алмазоносного слоя у кругов формы 1А1 100х6х20х5 на модифицированной связке меньше в 1,83 раза по сравнению со стандартными кругами, использующимся на производстве. Производительность кругов на модифицированной связке оказалась выше на 26% по сравнению с кругами, произведёнными по действующему ГОСТ при соответствии качества поверхности требованиям документации.

Представляется целесообразным организация производства кругов на гибридных (органо-металлических) связках, при использовании которых достигают высокую режущую способность и качество обработки, характерные для инструмента на органических связках, с его стойкостью и надёжностью являющимися отличительными чертами металлических связок, а также кластерных кругов, в которых кластеры из нескольких алмазных зерен соединённых связкой одного типа (металлической или керамической) объединены между собой связкой другого типа, например, органической. Это позволяет существенно повысить стойкость и производительность абразивного инструмента, обеспечить его универсальность при обработке различных материалов.

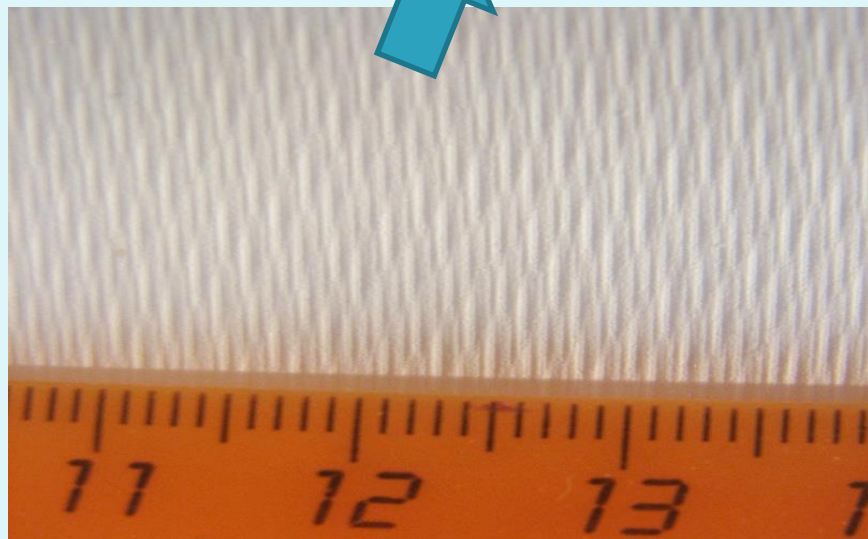
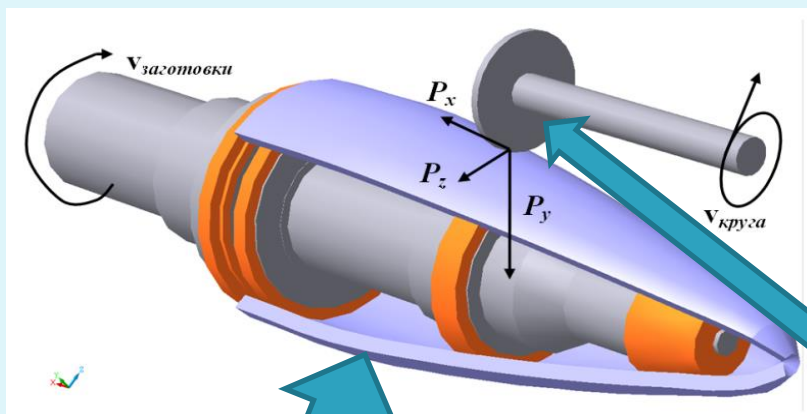
Современные методы высокоэффективной абразивной обработки

1. ***Creep-Feed Grinding (CFG)*** «глубинно-быстроходное шлифование»;
2. ***Speed-Stroke Grinding (SSG)***, «Быстроходное шлифование» SSG характеризуются высокой скоростью перемещения стола, вплоть до 200 м/мин при ускорении до 50 м/с^2 , а скорость круга составляет до 200 м/с.
Автор и первый исследователь процесса SSG - *I. Inasaki* – профессор Университета Кэйо (г. Токио, Япония);
3. **HEDG** – глубинно-скоростное шлифование с увеличенной скоростью подачи инструмента (научная школа - Университет Беркли, Калифорния);
4. **HSSG** – высоко-скоростное быстроходное шлифование. Скорость круга составляет от 80 до 160 м/с (научная школа – Рейнско-Вестфальский университет, Германия);
5. ***Quick-Point Grinding (QPG)*** – точечное скоростное шлифование. При QPG ось круга повернута по отношению к оси вращения заготовки таким образом, что формируется малый, «точечный» контакт круга с заготовкой.

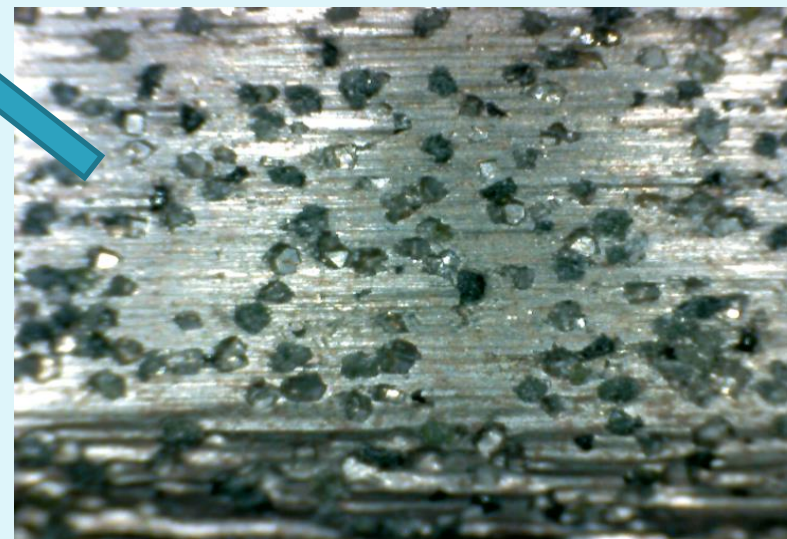
Решения по разработке алмазных кругов для глубинного шлифования



Исследования физико-механических свойств поверхности деталей и износостойкости алмазно-абразивных инструментов при помощи современных приборов и методик



Поверхность обрабатываемого материала –
конструкционной керамики



Поверхность алмазного круга
после шлифования

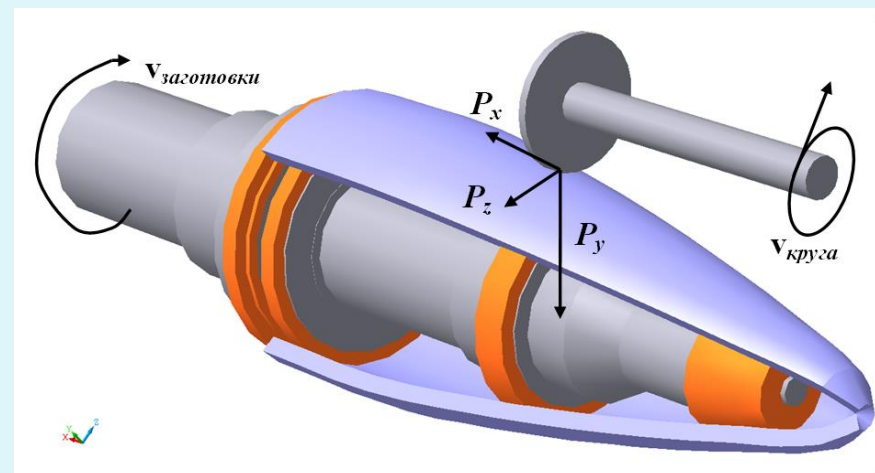
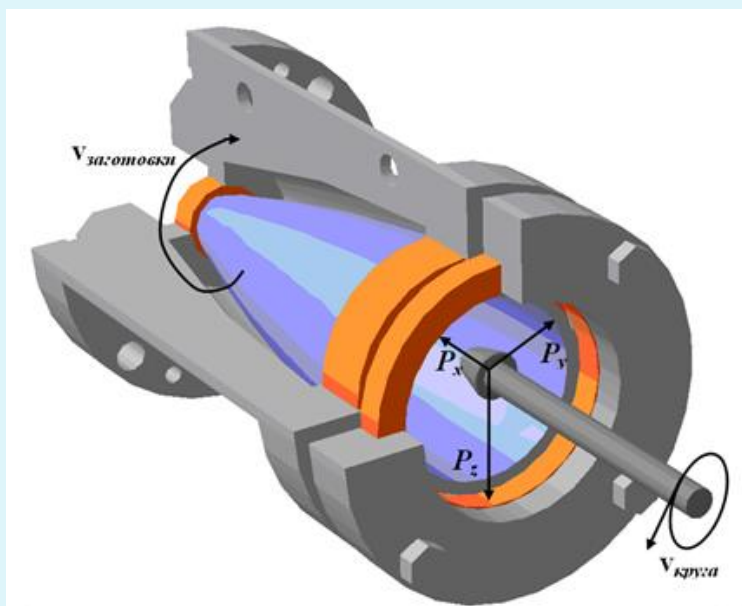
Сравнительный анализ качества алмазных кругов для шлифования керамических изделий

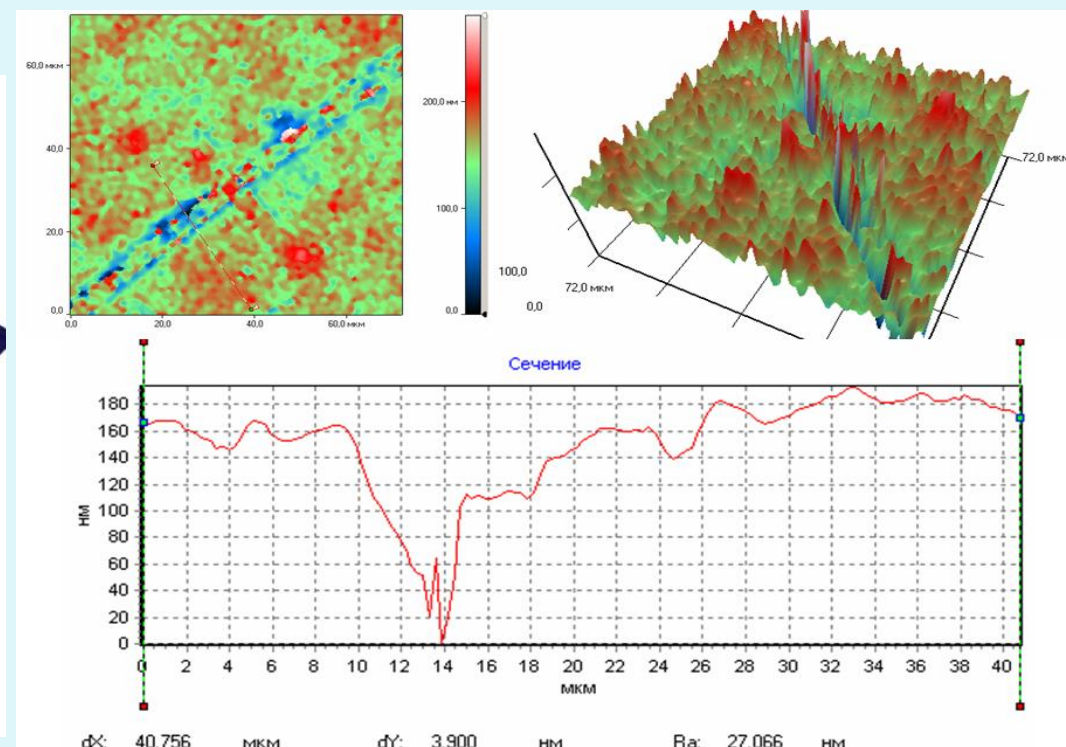
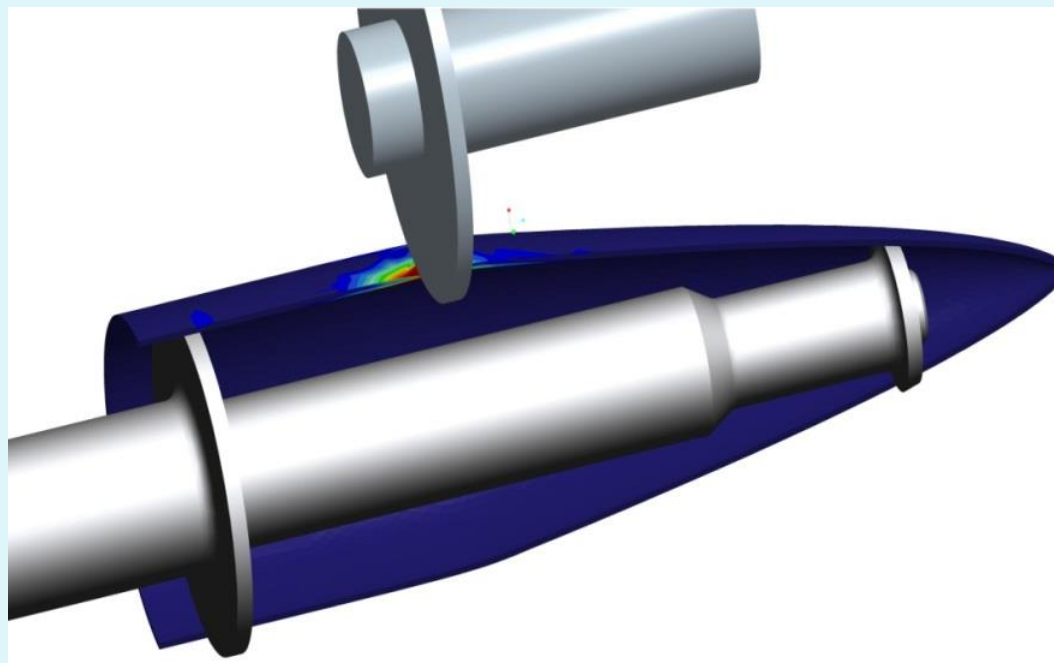


Технико-экономический показатель	Круг другого производителя РФ, ГОСТ	Круг производства Германии, ТУ	Круг ВНИИАЛМАЗ, ГОСТ
Удельный износ q , мг/см ³	1,8	1,1	1
Производительность, %	100	120	125
Цена, условных рублей	100	250	95

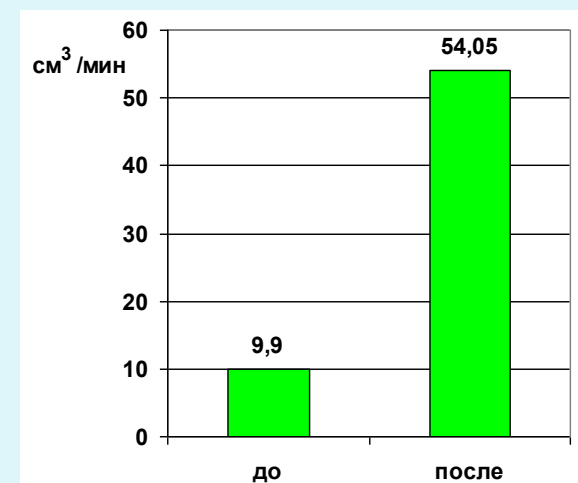
***Основание для анализа –
независимые производственные испытания на ряде машиностроительных
предприятий ОПК России**

Практическое применение специальных алмазных кругов при сверхскоростной и финишной обработке обтекателей ракет для достижения требуемых радиотехнических характеристик (РТХ)

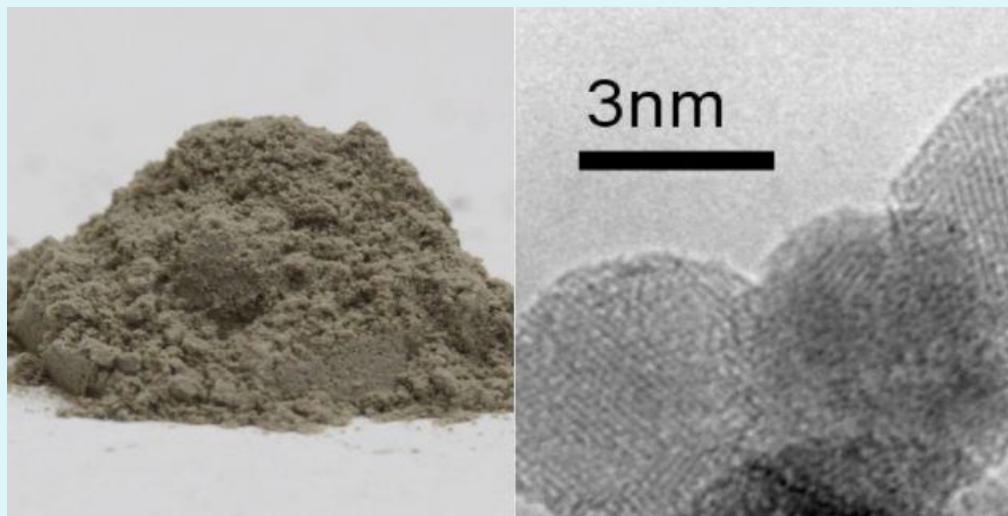




Параметр обработки	Традиционное	Глубинное	Высоко- скоростное глубинное	Сверх- скоростное глубинное
Глубина резания, мм	0,001...0,005	0,1...30	0,1...30	0,5...30
Скорость резания, мм	20...60	20...60	80...200	200...400
Скорость удаления материала, мм ³ /мм-с	0.1...10	0,1...10	50...2000	100...4000
Скорость подачи, м/мин	1...30	0,5...5	0,5...10	1...15



Практические применения наноалмазов



Существующие и перспективные направления применения ДНА

- упрочнение матриц полимерных композиционных материалов, резин;
- сверхтвердые композиционные материалы
- антифрикционные материалы
- гальванические покрытия
- адсорбенты и катализаторы
- легирование масел
- подготовка поверхностей под получение алмазных и алмазоподобных покрытий
- финишная обработка поверхностей деталей (наполирование)
- медицина

- ❑ - Пасты из наноалмазов с размером кластерных алмазов до 100 ангстрем эффективны при использовании в качестве тонкого полирующего материала для стекол и зеркал специального назначения, например, в лазерной технике.
- ❑ - Перспективно изготовление из наноалмазов поликристаллических алмазов для различных отраслей народного хозяйства (резцы, буровые коронки, подшипники, конструкционные детали, фильеры).
- ❑ - Наноалмазы обладают уникально высокой теплопроводностью, что делает перспективным его применение в качестве теплоотводов в радиоэлектронике.
- ❑ - Широко практикуется изготовление антифрикционных присадок к маслам для моторов, механизмов и станков, а также твердых смазок.
- ❑ - Высокоэффективно применение гальванических покрытий на основе алмаза с различными материалами (хром, никель, серебро, медь, кобальт, золото и др.).
- ❑ - наноалмазов начинают применять для производства наиболее эффективных теплопроводящих паст

Практические применения наноалмазов

Гальванопокрытия с наноалмазами	Уменьшение износа, раз
Cr	2 - 12
Ni	3 - 4
Cu	5 - 7
Au	1.5 - 4
Ag	3 - 6
Sn	2 - 3

Детонационные наноалмазы являются эффективным активным наполнителем эластомерных и полимерных композиций. Использование НА приводит к увеличению начального модуля упругости и разрывной прочности композитов.

Наполнение детонационными наноалмазами эластомерной матрицы (полифторированные эластомеры, полиизопрены, бутадиен — стирольные и бутадиен — нитрильные (морозостойкие) каучуки, полисилоксаны, полиуретаны) приводит к:

- увеличению условного напряжения и когезионной прочности резин в 1.5 — 2.0 раза;

- возрастанию сопротивления разрыву в 1.35 — 2.0 раза;

- увеличению эластичности на 50 — 70%;

- уменьшению абразивного износа в 1.3 — 2.0 раза;

- снижению коэффициента трения в 1.3 — 5.0 раз;

- увеличению коэффициента морозостойкости на ~50%;

- минимальному тепловому старению для полифторированных резин;

- увеличению стойкости к агрессивным средам;

- улучшению технологичности и реологических свойств.

Введение НА в полимерные матрицы (эпоксидная смола ЭД — 20, полиамид, фторопласт, поликарбонат, поливиниловый спирт) приводит к:

- усилению прочности на разрыв в 1.3 — 1.7 раза;

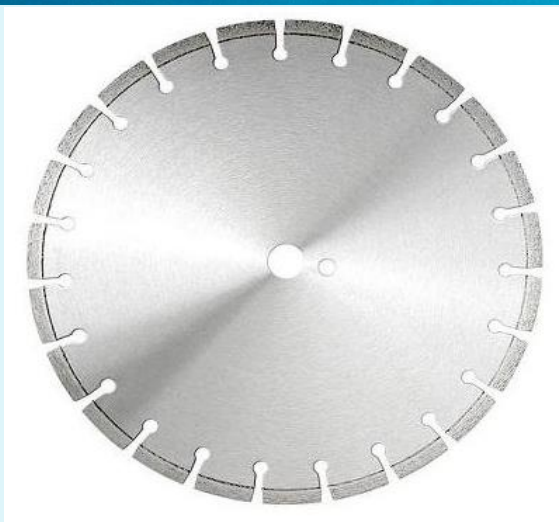
- увеличению эластичности в 1.3 — 2.1 раза;

- увеличению износостойкости вплоть до 4.6 раза;

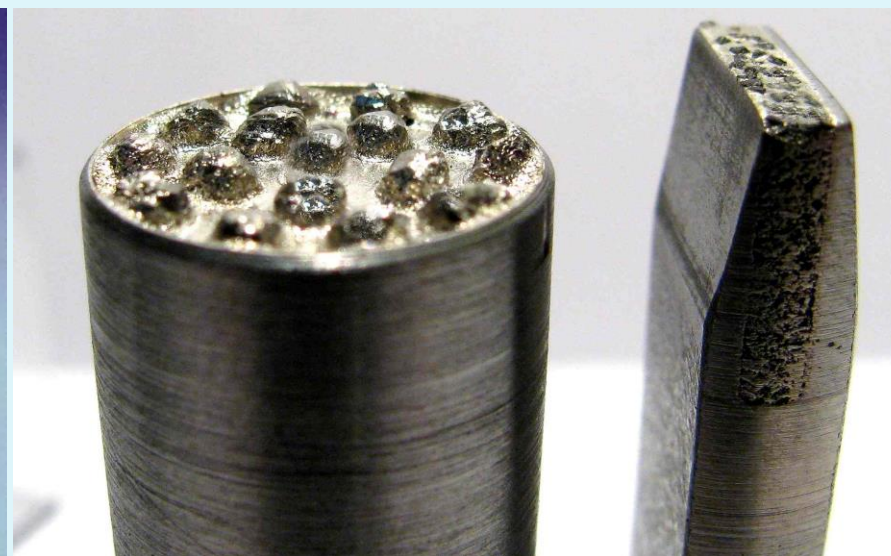
- снижению коэффициента трения до 0.17;

- увеличению предельной нагрузки на полимерный нанокомпозит при сохранении работоспособности вплоть до 7.5 раз.

Продукция института



Сертифицированные алмазные шлифовальные и отрезные круги



Алмазные однокристалльные правящие инструменты

Спасибо за внимание!

Контакты:

107996, г. Москва, ул. Гиляровского 65

Тел.: (+7 495) 681-59-07

Факс: (+7 495) 688-99-42