

УДК 621.921:621.923

## Новый алмазный инструмент для обработки оптических материалов

© 2017 г. **В. С. Кондратенко\***, доктор техн. наук; **П. Д. Гиндин\***, доктор техн. наук;  
**Д. А. Бурляй\***, аспирант; **А. Н. Кобыш\***, канд. техн. наук; **А. Ю. Рогов\***;  
**Е. В. Кондратенко\*\***; **Ю. И. Сакуненко\*\***, канд. техн. наук;  
**А. В. Бобков\*\*\***, канд. техн. наук

\*Физико-технологический институт Московского технологического университета, Москва

\*\*ООО «Инжиматик», участник Фонда «Сколково», Москва

\*\*\*АО «НПП «Геофизика-Космос», Москва

E-mail: vsk1950@mail.ru

Поступила в редакцию 10.02.2017

---

Статья посвящена новым возможностям обработки оптических материалов с помощью алмазно-абразивного инструмента на основе теплопроводных полимерных композитов и нового вида смазочно-охлаждающей жидкости на основе сильнощелочной воды.

**Ключевые слова:** теплопроводные полимерные композиты, сапфир, стекло, шлифование, полирование, смазочно-охлаждающая жидкость, сильнощелочная вода.

**Коды OCIS:** 220.1920; 220.5450.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность разработки и внедрения новых высокоэффективных технологических процессов прецизионной обработки изделий и деталей из различных материалов связана с бурным развитием машиностроения, приборостроения, микро- и оптоэлектроники. Эти отрасли предъявляют всё более высокие требования к качеству изделий, производительности технологических процессов их изготовления.

При обработке различных оптических материалов широко используются различные типы связанного алмазно-абразивного инструмента, в том числе на органической связке на основе эпоксиодно-диановой смолы ЭД-20 [1, 2]. Одним из главных достоинств инструмента является возможность использования его практически на любом традиционном шлифовально-полировальном оборудовании для односторонней и двусторонней обработки. Однако недостатком данной связки являются узкие функциональные возможности инструмента из-за низкой теплопроводности и теплостойкости связующего, что приводит к засаливанию инструмента и его выхода из строя.

Одной из главных причин засаливания и преждевременного разрушения существующих традиционных типов связанного алмазного инстру-

мента на органической связке является тепло, выделяющееся в процессе взаимодействия кристаллов алмаза с обрабатываемыми материалами. Особенно это актуально на операциях шлифования и полирования при высоких скоростях и высоких удельных нагрузках обработки из-за плохих условий теплоотвода из зоны резания.

### НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОПРОВОДНОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА

С целью исключения указанных недостатков и расширения функциональных возможностей инструмента была поставлена задача по созданию новой связки алмазного инструмента путём введения в композицию дополнительных компонентов, которые обеспечили бы улучшение условий охлаждения инструмента в зоне резания при высоких скоростях и удельных нагрузках обработки.

С появлением нового класса высоконаполненных графитсодержащих полимерных композитов с высокой теплопроводностью в диапазоне 4–20 Вт/м·К создан прецедент в использовании этих материалов в различных объектах современной техники [3]. Такие полимерные композиты способны проводить через себя тепловую энергию

до 100 раз лучше, чем традиционные пластики, в том числе, по сравнению с органической связкой на основе эпоксидно-диановой смолы.

В нашей работе данный теплопроводный полимерный композит впервые был использован в качестве связующего при изготовлении связанного шлифовального и полировального алмазно-абразивного инструмента. При этом в качестве графита была использована двухкомпонентная смесь искусственного рекристаллизованного графита и пирографита, в которой первая выполняет функцию теплопроводящего каркаса, а вторая — функцию смазывающего компонента.

Рекристаллизованный графит с добавками карбидов титана и циркония обладает наивысшей теплопроводностью даже по сравнению с медью. Теплопроводность искусственно полученного поликристаллического графита сильно зависит от его плотности. Кроме того, рекристаллизованный графит имеет наиболее высокие прочностные свойства.

Пирографит может быть успешно использован в качестве фрикционного материала. Коэффициент трения по металлам (для рабочих скоростей до 10 м/с) для пирографита составляет 0,4–0,5.

В работе предлагается реализация одновременно сразу двух подходов, позволяющих снизить отрицательный эффект термического разрушения таблеток.

Первый подход — в 50–100 раз увеличить теплопроводность используемой полимерной матрицы за счёт рекристаллизованного графита. В этом случае триботепло быстрее и равномернее распределится по всему объёму таблетки, исключая локальные перегревы и их разрушительный вклад в термическую деструкцию. Второй подход — уменьшить количество выделяемого триботепла за счёт использования в качестве твердотельной смазки пирографита.

Прессование алмазно-абразивных элементов со связкой на основе теплопроводного полимерного композита (ТРП) осуществлялось на прессе ДТС-06-50 с использованием подогреваемой пресс-формы (рис. 1а) [4]. Также был использован настольный лабораторный пресс «Chennai metco Vainmount H Auto» (рис. 1б) с возможностью нагрева до 200 °С и возможной нагрузкой до 35 МПа.

Инструмент изготавливают следующим образом.

Взвешивают отдельно каждый из компонентов состава композиции с точностью не более 1%, после чего тщательно перемешивают компоненты. При наличии комков и конгломератов предварительно тщательно перетирают массу в ступке. После чего повторно взвешивают массу композиции. Засыпают массу в предварительно прогретую матрицу пресс-формы. Осуществляют прессование инструмента при следующих оптимальных режимах:

- температура нагрева пресс-формы — 220 °С;
- удельное давление прессования —  $375 \pm 5$  кГ/см<sup>2</sup>;
- время выдержки — 5 мин.

Связанный алмазный инструмент изготавливают в виде отдельных элементов — таблеток, которые наклеивают на поверхность планшайбы.

В ходе оптимизации режимов прессования были проведены сравнительные испытания работы двух типов связанного алмазного инструмента с алмазным порошком АС4 зернистостью 100/80 на основе теплопроводных полимерных композитов ТРП-100 и традиционный алмазный инструмент на органической связке РТ-100Р1 (рис. 2). Испытания проводились на станке ЗШП320М. Данное оборудование предназначено для тонкого шлифования и полирования поверхностей заготовок оптических деталей методом притира. Испытания проводились при удельной нагрузке 0,4 кг/см<sup>2</sup> и скорости вращения шпинделя 100 мин<sup>-1</sup>. В качестве объекта для шлифования выбрана подложка из сапфира [5].

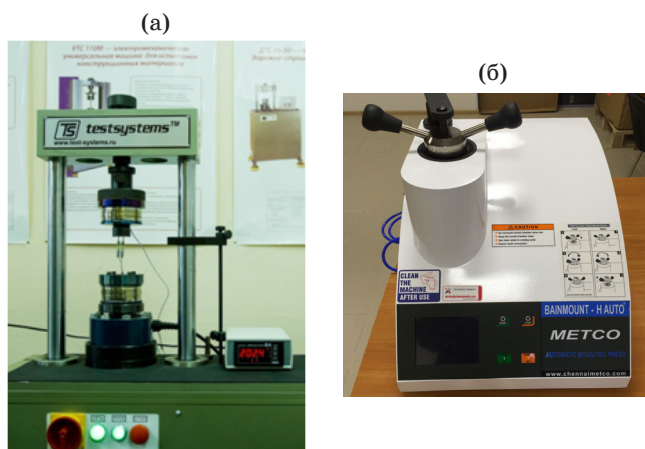


Рис. 1. Фотографии оборудования для прессования алмазно-абразивных элементов: пресс ДТС-06-50 (а) и настольный лабораторный пресс «Chennai metco Vainmount H Auto» (б).

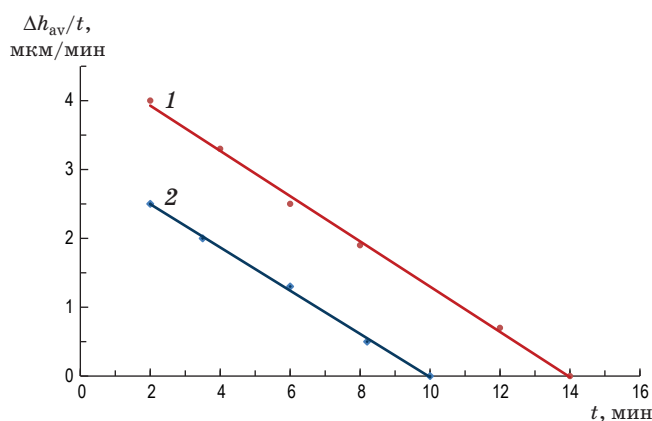


Рис. 2. Зависимости съёма материала при шлифовании инструментами ТРП-100 и РТ-100Р1.

В результате испытаний было выявлено, что новый алмазно-абразивный элемент на основе теплопроводных полимерных композитов имеет почти в 2 раза более высокую режущую способность, чем у инструмента на органической связке на основе эпоксидно-диановой смолы без ухудшения шероховатости поверхности. Кроме того, инструмент на основе теплопроводных полимерных композитов засаливается медленнее, что позволяет ему сохранять дольше свои шлифовальные способности. Это является преимуществом представленного инструмента по сравнению с известными типами связанного алмазного инструмента.

Данный тип алмазно-абразивного инструмента можно использовать на различных операциях грубого, тонкого и финишного шлифования широкого класса многофункциональных материалов с применением алмазных порошков с зернистостью от 200/160 до 0,5/0.

### СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩАЯ ЖИДКОСТЬ НА ОСНОВЕ СИЛЬНОЩЕЛОЧНОЙ ВОДЫ

Для эффективной работы связанного алмазного инструмента на органической связке на основе эпоксидно-диановой смолы был разработан специальный состав смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) на основе полиэтиленполиамина (ПЭПА), ортофосфорной кислоты, сернокислого никеля и глицерина [6]. Данная СОЖ успешно используется в сочетании с описанным связанным алмазным инструментом на основе эпоксидно-диановой смолы и имеет преимущества перед рядом серийно выпускаемых составов СОЖ. Однако данному составу СОЖ присущи следующие недостатки:

1. Образование грибков и плесени на поверхности СОЖ при длительном хранении или эксплуатации;
2. Коррозия оборудования при обработке;
3. Падение значения съёма материала при длительном шлифовании.

Данная работа посвящена оптимизации состава СОЖ за счёт применения сильнощелочной воды с высоким показателем pH = 12,5.

Производство сильнощелочной воды “Nano Super Ion Water (NSIW)” осуществляется в Физико-технологическом институте Московского технологического университета (МГУПИ) электролитическим способом из водопроводной воды на оборудовании (рис. 3), запатентованном компанией “Nanoplus Technology Ltd” (Тайвань), на основании лицензионного договора с этой компанией. Являясь сильнощелочной электролитической водой с максимизацией концентраций ионов водорода, она обладает высоким окислительно-восстановительным потенциалом OR — 900 мВ.

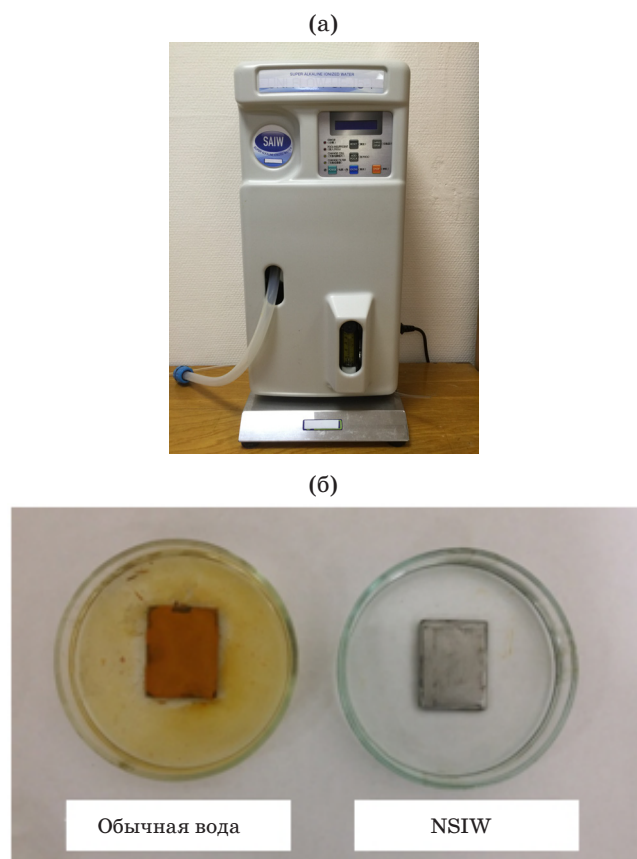
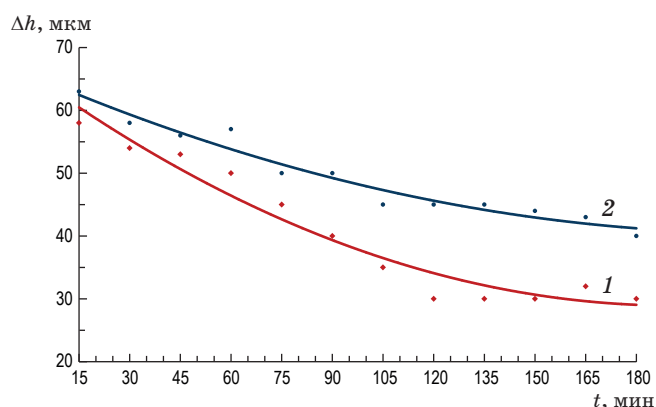


Рис. 3. Лабораторная установка для производства сильнощелочной воды (а) и результаты испытаний её антикоррозионных свойств (б).

Свойства и преимущества сильнощелочной воды NSIW:

- блокирует коррозию оборудования и обрабатываемых деталей;
- обладает мощными очистительными и дезинфицирующими свойствами;
- уничтожает разные виды грибков и бактерий;
- убирает неприятные запахи;
- не содержит ПАВ и других синтетических химических веществ;
- является безопасной, экологичной и безвредной для человеческого организма;
- имеет стабильный срок хранения — 1 год в закрытом виде;
- нагрев сильнощелочной воды NSIW до 40–90 °С увеличивает её активность.

Были проведены сравнительные испытания традиционного состава СОЖ [6] при разбавлении её концентрата в соотношении 1:200 обычной водой и сильнощелочной водой NSIW. Испытания проводились на станке «Cambridge Multipole-2» при удельной нагрузке 0,4 кг/см<sup>2</sup> и скоростью вращения шпинделя равным 60 мин<sup>-1</sup>. В качестве объекта для шлифования выбрана подложка из стекла марки БК-7 диаметром 100 мм.



**Рис. 4.** График зависимости съёма материала от времени шлифования при использовании разных видов СОЖ: 1 — с обычной водой, 2 — с сильнощелочной водой.

На рис. 4 представлены результаты исследования в виде графика зависимости съёма материала от времени шлифования для разных видов СОЖ.

В результате испытаний было выявлено, что СОЖ с сильнощелочной водой позволяет повысить стойкость и эксплуатационный период режущего инструмента по сравнению с использованием обычной воды. Это обеспечивается высокой способностью очищения сильнощелочной воды, которая помогает быстро удалять из зоны резания отработанный материал и шлам. Также применение СОЖ с сильнощелочной водой обеспечивает защиту от коррозионных процессов, что позволяет увеличить срок службы шлифовальных станков [7].

## ВЫВОДЫ

В работе рассмотрены первые результаты исследований по разработке новой связки на основе теплопроводных полимерных композитов для алмазно-

абразивного инструмента для обработки пластин из стекла, сапфира, кремния и других оптических материалов.

Оптимальное количественное соотношение компонентов и оптимальные режимы изготовления инструмента на основе теплопроводных полимерных композитов обеспечивают подходящие свойства связанного алмазно-абразивного инструмента:

- улучшенные условия теплоотвода из зоны обработки и охлаждения инструмента при высоких скоростях обработки и повышенных нагрузках на инструмент;

- высокую абразивную способность инструмента;

- высокую износостойкость инструмента;

- высокое качество обработки оптической поверхности стекла, сапфира и других различных материалов.

Выполненные в работе исследования позволяют сделать вывод, что традиционный, ранее используемый состав СОЖ с использованием сильнощелочной воды NSIW позволяет улучшить технологические параметры процесса обработки широкого класса оптических материалов, в том числе:

- исключает коррозию оборудования и обрабатываемых деталей;

- повышает производительность процесса шлифования;

- повышает износостойкость алмазного инструмента;

- исключает образование грибков и удаляет неприятные запахи гниения;

- не содержит ПАВ и других синтетических химических веществ;

- является экологичной и безвредной для человеческого организма.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратенко В.С., Кобыш Н.И., Кобыш А.Н., Могилевская А.А. Композиция для связанного полировального инструмента // Патент РФ № 2526982. 2013.
2. Кондратенко В.С., Кобыш А.Н., Рогов А.Ю. Шлифовка и полировка по новому // Ритм. 2015. № 1. С. 34–40.
3. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Криваткин А. Трансэнергопластики: новый вызов металлам // Пластик. 2014. № 1–2. С. 28–31.
4. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Кобыш А.Н., Бурляй Д.А., Стыран В.В. Разработка оборудования и оснастки для изготовления алмазно-абразивных элементов на основе теплопроводных полимерных композитов // Сборник научных трудов МНТК ИВТ-2015. 2015. С. 79–81.
5. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Бурляй Д.А. Алмазно-абразивный элемент на основе теплопроводных полимерных композитов // Сборник научных трудов МНТК ИВТ-2016. 2016. С. 69–72.
6. Кондратенко В.С., Кобыш Н.И. Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки стекла и других материалов // Патент РФ № 2475522. 2013.
7. Кондратенко В.С., Кобыш А.Н., Бурляй Д.А. Применение наноионизированной воды для изготовления СОЖ // Сборник научных трудов ВНТК Оптотех-2016. 2016. С. 119–121.