

**В.Т. ЧАЛЫЙ**, ст. научн. сотруд., ИСМ НАНУ, Киев,  
**Е.А. ПАЩЕНКО**, докт. техн. наук, завлаб., ИСМ НАНУ, Киев,  
**Н.А. ЩУР**, мл. научн. сотруд., ИСМ НАНУ, Киев,  
**О.В. МАНЬКО**, вед. инженер, ИСМ НАНУ, Киев,  
**В.В. ШАТОХИН**, канд. техн. наук, науч. сотруд. ИСМ НАНУ, Киев,  
**А.Г. ЛУБНИН**, вед. инженер, ИСМ НАНУ, Киев

## **АЛМАЗНЫЙ ЭЛАСТИЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С СЕТЧАТОЙ СТРУКТУРОЙ НА ПОЛИМЕРНОЙ И ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СВЯЗКАХ**

Запропоновано і реалізовано принципово нове конструкторсько-технологічне виконання алмазних еластичних дисків на полімерній і гальванічній зв'язках, що забезпечують підвищення продуктивності і якості шліфування.

Предложено и реализовано принципиально новое конструкторско-технологическое исполнение алмазных эластичных дисков на полимерной и гальванической связках, обеспечивающих повышение производительности и качество шлифования.

In this article was proposed and realized in essence new engineering-technological implementation of diamond elastic disks on polimeric and galvanic bonds, which ensures increasing of productivity and quality grinding.

Одним из перспективных направлений абразивной обработки является эластичное шлифование, обеспечивающее формирование оптимального микрорельефа и качества шлифованной поверхности деталей. Эластичное шлифование производится в основном, абразивной лентой, фибровыми и лепестковыми кругами, а также прерывистым инструментом из абразива и алмаза на полимерной и резиновой связках [1, 2]. Вследствие "засаливания" этих видов инструментов, вызываемого заполнением межзернового пространства продуктами обработки они имеют сравнительно низкую износостойкость и режущую способность. Это ограничивает их широкое применение при эластичном шлифовании железоуглеродистых, титановых сплавов и других конструкционных материалов.

Поэтому разработка высокопроизводительного и износостойкого эластичного инструмента из сверхтвердых материалов (СТМ) является актуальной и перспективной задачей.

Исходя из комплекса требований к рабочему слою инструмента такого назначения, вытекающего из результатов исследований его износа и режущей способности [1 – 3], принимая во внимание высокую эффективность работы кругов сетчатой структуры на гальванической никелевой связке при обработке других материалов [4], изучив результаты поверхностных явлений и адгезии в металлополимерных системах [5], предложено изготавливать эластичный инструмент с новым конструкторско-технологическим исполнением рабочего слоя на основе токопроводящей металлической сетки с открытыми ячейками.

На рис. 1 представлен один из видов предлагаемого инструмента – алмазный эластичный диск и фрагмент его рабочего слоя на основе латунной сетки, на поверхности проволочных элементов которой закрепляют зерна синтетических алмазов (СА) с помощью адгезионно-активного электропроводящего терморезистивного полимерного клея и электрохимически осажденного никеля.

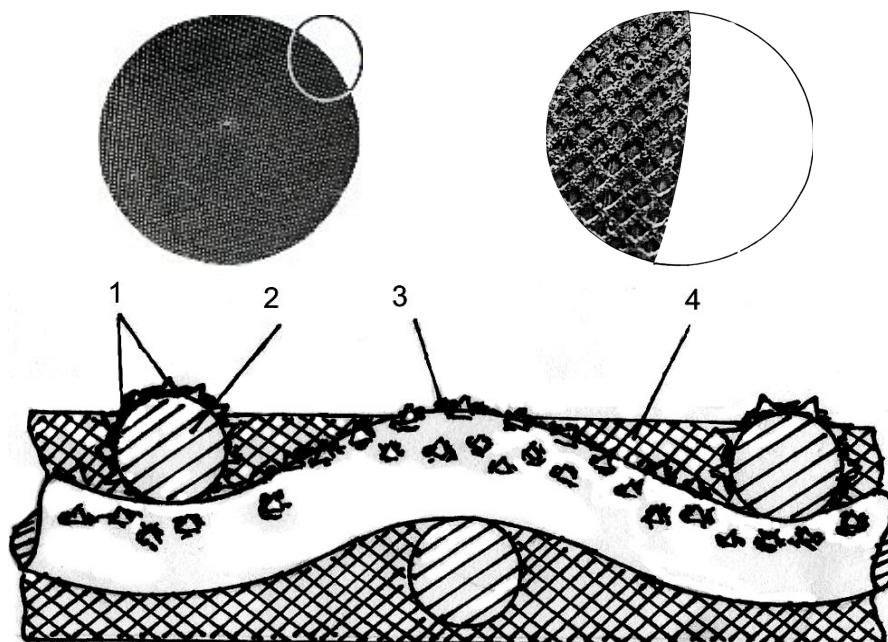


Рис. 1. Алмазный эластичный шлифовальный диск с сетчатой структурой:  
1 – зерна алмаза; 2 – сетка металлическая; 3 – никель; 4 – фторопласт.

Программированная ориентация с желаемой плотностью распределения и прочное закрепление зерен СА в один слой на передней поверхности проволочных элементов сетки с достаточно большим вылетом их над уровнем рабочей поверхности сетки (1/2 размера основной фракции) обеспечивают

увеличение вероятности внедрения режущих зерен алмаза инструмента на более полную их высоту, предопределяя тем самым рост съема припуска, а также исключение или уменьшение контакта связки с обрабатываемым материалом, что является необходимым условием для эффективного резания.

Управление размерами и объемом свободных ячеек – карманов путем выбора сетки соответствующей характеристики обуславливает кардинальное повышение объема свободного пространства в зоне обработки и тем самым возможность размещения и удаления практически всей обрезаемой стружки в межзеренных промежутках и в дополнительных резервуарах – карманах рабочего слоя инструмента.

Последний фактор способствует исключению засаливания, интенсификации и повышению качества резания.

Улучшению условий стружкообразования способствуют и относительно незначительные размеры (по ширине) режущих площадок, лимитированные номинальным диаметром проволочных элементов, на которых закреплены ориентированные и значительно выступающие из связки частицы СА.

При этом [6], геометрически ориентированные зерна СА должны быть зафиксированы на подобных режущих площадках друг за другом, с предельным шагом и рядами, число которых предопределяется схемой обработки, зернистостью СА и необходимостью получения требуемой шероховатости шлифованной поверхности.

Ориентация зерен СА предусматривает их установку к поверхности обработки наиболее острыми вершинами, имеющие меньшие углы заострения и радиусы округления по сравнению с другими, что благоприятно влияет на процесс съема материалов.

При шлифовании значительная часть энергии расходуется на трение, при этом важна роль связки как элемента процесса трения и источника теплообразования [7].

В предлагаемом инструменте из-за небольшого размера режущих площадок и существенного выступания расположенных на них зерен СА, отношение фактических площадей контакта связки и частиц СТМ к обрабатываемой поверхности уменьшается, что должно содействовать снижению работы трения и интенсивности теплообразования, повышению коэффициента использования потенциальных шлифующих свойств алмазов.

Наряду с этим улучшению теплового режима и работоспособности инструмента будет способствовать и охлаждающее воздействие непосредст-

венно в зоне резания сильного потока воздуха, который будет захватываться свободными и глубокими карманами алмазоносного слоя.

Кроме того, сетчатая структура рабочего слоя определяет условия прерывистого шлифования со всеми положительными аспектами его влияния на эксплуатационные характеристики инструмента и обрабатываемого материала [8].

Для экспериментального подтверждения изложенного положения и эффективности предлагаемого инструмента была разработана технология его изготовления и эксплуатации.

На рабочих участках проволочных элементов сетки предварительно закрепляют одним слоем ориентированные зерна СА марки АС20 зернистостью 400/315 с применением токопроводящего клея на основе эпоксифенольного полимера, наполненного наночастицами графита и меди.

Для ускорения распределения зерен абразива путем локального снижения вязкости клея, их перед нанесением на слой клея нагревают до температуры на 60 – 70 % ниже температуры стеклования ( $T_c$ ) клея.

При этом толщина нанесенного клея составляет ориентировочно 1/10 размера зерен СА.

Толщина слоя клея менее этой величины не обеспечивает прочного приклепления частиц алмаза из-за небольшой фактической площади их контакта с клеящей средой.

Применение нагретых зерен интенсифицирует их распределение в 1.5 – 2.0 раза, вследствие более полного проявления действия известного явления "ускорения силы тяжести" частиц (зерен) из-за локального снижения вязкости клеящей среды (непосредственно контактирующей с дисперсной фазой) при передаче ей тепловой энергии.

Зерна СА прикрепляли путем частичного отверждения клея при температуре на 25 – 40 % ниже его  $T_c$ , после этого заравнивали зерна электролитическим никелем. При таком температурном режиме происходит отверждение клея до состояния (точки) гелеобразования (желатинизации), когда по экспериментальным данным вступают в реакцию только ~ 50 % функциональных групп связующего.

Клей из вязкотекучего переходит в неплавкий и нерастворимый продукт, который относительно прочно прикрепляет зерна СА, а также сохраняет точность профиля рабочего слоя инструмента.

Кроме того, клей в гелеобразном состоянии содержит ~ 50 % "свободных" реакционноспособных групп, ответственных за адгезионную способность и прочность сцепления катодной поверхности с электроосажденным слоем металла.

С целью достижения заданной величины выступания зерен алмазов, определяющей прочность их закрепления, для уменьшения или исключения контакта связки с обрабатываемым материалом, создания необходимого межзернового пространства и в совокупности с другими факторами обеспечения повышения эффективности шлифования, наращивание гальваническим никелем алмазных микрорезцов проводили электрохимическим способом являющимся простым и экономичным, позволяющим получать покрытия необходимой толщины.

Электролитическое осаждение осуществляли из раствора следующего состава, г / л:

$\text{NiSO}_4$  – 300

$\text{NiCl}_2$  – 30

$\text{H}_3\text{BO}_3$  – 30

ПАВ

(рН 4,5 – 4,8) при  $T = 18 - 20$  °С, плотности катодного тока  $i_k = 2$  А/дм<sup>2</sup>.

В процессе формирования металлического слоя сетка с алмазными микрорезцами находилась на дне ванны, параллельно к которой размещался анод марки НА. Время наращивания составило 4 ч.

Выбранный технологический режим является оптимальным для осаждения равномерных, безпористых, бездендритных никелевых покрытий [9].

Микротвердость полученных металлических осадков составляет 2,8 – 3,0 ГПа.

В процессе электролиза ионы никеля восстанавливаются на поверхности

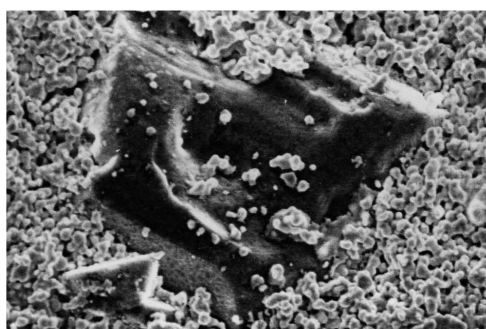


Рис. 2. Фрагмент рабочей поверхности диска с единичным зерном алмаза (×2000)

электропроводящего клея и сетки, образуя сплошной мелкокристаллический износостойкий слой из гальванического никелевого покрытия (рис. 2).

Электролитический осадок не только прочно закрепляет зерна, но и обладает повышенной адгезией с поверхностью катода за счет взаимодействия ионов металла с основой клея и сетки.

После технологической операции наращивания проводили окончательное отверждение клея до стеклообразного состояния путем термообработки при температуре на 20 % выше  $T_c$  клея.

Указанный температурный режим повышает подвижность молекулярных цепей эпоксифенольного связующего клея, предварительно отвержденного клея до гелеобразного состояния.

В связи с этим в реакцию полного отверждения вступают реакционно-способные группы связующего и переход клея в более структурированное состояние.

Поэтому повышается прочность сцепления клея с электроосажденным металлом; тепло- и термостойкость клеевого соединения, что в совокупности с высокой прочностью закрепления зерен СА и износостойкостью связки позволит эксплуатировать инструмент на режимах повышенной производительности резания. Полотно сетки заданного размера с закрепленными на ней ориентированными зернами СА укладывается на нижний пуансон прессформы, засыпается определенным количеством порошка эластичного фторопласта и прессуется на гидравлическом прессе при необходимых значениях температуры и давления.

В полученном инструменте металлическая сетка является не только основой для закрепления режущих зерен СА, но и выполняет функции армирующего элемента полимерной матрицы, определяющего его прочность на разрыв, демпфирующую способность и интенсивный теплоотвод из зоны резания, что позволяет работать ему при высоких скоростях шлифования.

Полимерная матрица инструмента из фторопласта, одного из самых антифрикционных материалов, обеспечивает при температуре резания образование на поверхности трения-резания смазочной пленки, что определяет эффект самосмазываемости инструмента и возможность работы в условиях отсутствия внешнего подвода смазки, что важно в технологии шлифования материалов без применения смазочно-охлаждающей жидкости.

Таким образом, сформированный инструмент представляет собой алмазосодержащий эластичный антифрикционный самосмазывающийся материал регулярной сотовой макроструктуры.

Алмазные эластичные диски  $\varnothing 178 - 200$  мм АС20 400/315 нашли применение при шлифовании и зачистки криволинейных поверхностей деталей (лопатки, лопасти турбин, винты судов) из стали, алюминиевых и титановых сплавов и других материалов.

Применяются взамен абразивных гибких дисков на фибровой основе отечественного (14А 50-ПС, ГОСТ 8692 -92) и импортного (2А36Р, фирма "САИТ" Италия) производства на ручных приводных машинах фирмы "БОШ" (ФРГ). Скорость движения алмазного диска – 60 м/с, усилие прижима –  $(25 \pm 5)$  Н). Алмазный инструмент с сетчатой структурой по сравнению с импортным обеспечивает снижение мощности резания на 30 % и повышение производительности качественной обработки в 5 – 8 раз, а срок службы его до полного износа в 35 раз выше, при этом существенно улучшается гигиена и культура производства. При шлифовании новым инструментом получают заданную шероховатость, и исключается образование прижогов на обрабатываемой поверхности. Предложенный конструкторско-технологический принцип исполнения инструмента в зависимости от материала и размера открытых ячеек сетки, марки и зернистости сверхтвердых абразивов, состава электролита и режимов электроосаждения металла для закрепления режущих зерен, материала и физико-механических свойств полимерной матрицы и параметров формирования структуры позволяет прогнозировать получение армированных инструментов с широким диапазоном вязкоупругих (демпфирующих), режущих, полирующих и технологических эксплуатационных возможностей. Таким образом, производственные испытания алмазных дисков на основе металлической сетки с закрепленными на ней зернами алмаза в один слой электролитическим никелем, выполняющей функции режущего и армирующего элементов в антифрикционной самозатачивающейся полимерной матрице, показали высокую технико-экономическую эффективность.

Данный инструмент имеет программированный рельеф рабочей поверхности алмазоносного слоя с сетчатой структурой, который обеспечивает высокую прочность закрепления ориентированных режущих зерен СА с заданной величиной их выступания над уровнем связки, прерывистость резания, способность к демпфированию, свободные объемные "карманы" для приема и последующей эвакуации из зоны обработки диспергированного материала, теплоотводящие и смазывающие элементы.

Все это в совокупности предопределяет направленное изменение механизма динамического взаимодействия поверхностей контакта (инструмент – обрабатываемый материал) и условия для облегчения процесса резания. Это является предпосылкой высокой режущей способности и износостойкости инструмента с сетчатой (сотовой) структурой, обеспечивающего надлежащее качество и экологию шлифования материалов.

**Список литературы:** 1. Щеголев В.А. Эластичные и алмазные инструменты / В.А. Щеголев, М.Е. Уланова. – Л.: Машиностроение, 1987. – 180 с. 2. Алмазная обработка эластичным инструментом. РТМ 88УССР ИСМ 1-82. – К.: ИСМ АН УССР, 1982. – 28 с. 3. Аносов Ю.Л. Синтетические сверхтвердые материалы: монография в 3-х т. / [Ю.Л. Аносов, Т.Н. Антонова, Е.К. Бондарев и др.]. – К.: Наукова думка, 1986. – Т. 2: Композиционные инструментальные сверхтвердые материалы. – Глава II: Абразивные композиты на органических связках. – 1986. – 264 с. 4. Чалый В.Т. Высокопроизводительный алмазный инструмент с сетчатой структурой для шлифования древесно-полимерных и резиновых композитов / В.Т. Чалый, А.Г. Лубинин, В.Г. Сороченко // Абразиво-держачие композиты для изготовления инструмента и качество поверхности деталей при физико-механической обработке: сборник научных трудов. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 1992. – с. 52 – 59. 5. Белый В.А. Адгезия полимеров к металлам / В.А. Белый, Н.И. Егоренков, Ю.М. Плескачевский. – Минск: Наука и техника, 1991. – 288 с. 6. Жук М.М. Повышение эффективности шлифовальных лент на основе программированного расположения зерен: автореф. дис ... канд. техн. наук: спец. 05.03.01 « Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» / М.М. Жук. – К., 1989. – 18 с. 7. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / А.И. Грабченко. – Х.: “Вища школа”, 1985. – 184 с. 8. Якимов А.В. Прерывистое шлифование / А.В. Якимов. – К.: – Одесса: Высш. Шк., 1986. – 175 с. 9. Щур Н.А. О влиянии магнитного поля на процесс электроосаждения никеля / Н.А. Щур, М.И. Донченко // Вісник НТУ «ХП». – 2006. – № 44. – С. 60 – 66.

*Поступила в редколлегию 24.02.11*

УДК 153.192

**И.В. КРАВЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц.,  
ТИ СНУ им. В. Даля, Северодонецк

## **ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ N<sub>2</sub>O ДО NO**

Проведено лабораторні дослідження термoxiмічного некаталітичного окиснення закису азоту до монооксиду азоту проміжними продуктами розкладання нітратної кислоти. Показано, що при 923 – 1073 К окиснення N<sub>2</sub>O до NO перебігає з селективністю близько 58 %, що практично у двічі вище відомих показників термічного процесу.

Проведены лабораторные исследования термoxиmического некаталитического окисления закиси азота до монооксида азота промежуточными продуктами разложения азотной кислоты. Показано, что при 923 – 1073 К окисление N<sub>2</sub>O до NO протекает с селективностью около 58 %, что практически вдвое выше известных показателей термического процесса.