

УДК 681.7.054.3:620.182.2

ПОРИСТЫЙ АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С АНИЗОТРОПНОЙ ПОРОВОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ШЛИФОВАЛЬНО-ПОЛИРОВАЛЬНЫХ РАБОТ

Л.П. ПИЛИНЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 22 марта 2016

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса получения пористого алмазного инструмента с анизотропной поровой структурой для шлифовально-полировальных работ с подачей в зону обработки смазочно-охлаждающей жидкости через поры инструмента.

Ключевые слова: абразивный материал, поровая структура, алмаз, частица, смазочно-охлаждающая жидкость.

Введение

Развитие современного приборостроения, микро- и оптоэлектроники постоянно повышает требования к технологическим процессам прецизионной обработки деталей и изделий, требует повышения качества обработки их поверхностей и увеличения производительности процессов их изготовления. Это обусловлено тем, что в настоящее время увеличивается миниатюризация изделий микро- и оптоэлектроники, а также уменьшается толщина плазменных и жидкокристаллических экранов и дисплейных панелей при одновременном увеличении их площади. В связи с этим значительно возрастает роль финишных операций. Одним из важнейших методов механической обработки поверхностей деталей является абразивная доводочно-притирочная обработка, которая одновременно обеспечивает высокий класс чистоты, точность геометрических размеров. Однако до настоящего времени нет достаточно эффективных абразивных материалов для обработки твердых, сверхтвердых и хрупких материалов, так как при их обработке выделяется большое количество тепла, приводящее к повышению температуры в зоне обработки, окислению их поверхности, образованию трещин, потере заданной микротвердости и других свойств материалов.

В последние годы в промышленности для обработки поверхности различных деталей и изделий широкое применение нашли синтетические алмазы, обладающие низким коэффициентом трения, высокой теплопроводностью, износостойкостью, хорошими режущими свойствами, что позволяет повысить производительность обработки деталей, получать необходимую точность и качество обрабатываемой поверхности. Однако алмаз обладает довольно низкой теплостойкостью. При температуре 700–800 °С происходит графитизация алмаза и выделение графита на его поверхности, что приводит к снижению положительных абразивных свойств алмаза.

Пористость алмазного круга и ориентация зерен являются важнейшими факторами повышения стойкости и работоспособности алмазного круга. Поэтому до сих пор важна и актуальна задача изучения и разработки технологии получения высокоэффективных абразивных пористых алмазных материалов. Для более эффективной работы абразивный инструмент должен иметь пористость, которая обеспечивает локализацию распространения трещин у абразивного инструмента при обработке изделий и возможность дополнительного охлаждения инструмента при подаче смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Целью настоящей работы являются исследование и разработка процесса создания алмазных пористых кругов на металлической связке с анизотропной поровой структурой для шлифовально-полировальных работ с подачей в зону обработки смазочно-охлаждающей жидкости через поры инструмента.

Теоретический анализ

Распределение тепла в алмазном инструменте при подаче охлаждающей жидкости через поры имеет весьма сложный теплофизический механизм. Рассмотрим процесс теплопередачи в однородной пористой среде с теплофизическими характеристиками, определенными на основе обобщенной теории теплопроводности пористых сред, разработанной В.И. Оделевским [1]:

$$\lambda_c = \lambda_1 \left(1 + \frac{\Pi}{\frac{\Pi}{3} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}} \right), \quad (1)$$

где λ_c – средняя теплопроводность пористого тела, λ_1 – теплопроводность связки, λ_2 – теплопроводность зерен, Π – пористость среды.

Пусть охлаждающая жидкость имеет температуру T_0 , поэтому можно предположить, что на внутренней стенке алмазного круга R_1 поддерживается постоянная температура $T = T_0$. На внешней поверхности R_2 подводится постоянный тепловой поток q . При условии равенства температур охлаждающей жидкости и пористой среды, а также с учетом положительного направления движения жидкости по порам, уравнение теплопроводности для стационарной задачи может быть записано согласно работе [2] в следующем виде:

$$\frac{d^2 T}{dR^2} + \frac{1-2\nu}{R} \cdot \frac{dT}{dR} = 0, \quad (2)$$

где ν – безразмерная величина массового расхода охлаждающей жидкости $\nu = \frac{mC_\delta}{4\pi\lambda_m}$; m – массовый расход охладителя; C_δ – удельная теплоемкость охладителя; λ_m – коэффициент теплопроводности пористого материала.

На внутренней поверхности круга имеет место $T(R_1) = T_0$, а на внешней выполняется следующее условие:

$$\lambda \frac{dT}{dR}(R_2) = +q. \quad (3)$$

Общее решение уравнения (2) имеет следующий вид

$$T = C_1 + C_2 R^{2\nu}. \quad (4)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяются из краевых условий

$$\left. \begin{aligned} C_1 + C_2 R_1^{2\nu} &= T_0 \\ 2C_2 \nu R_2^{2\nu-1} &= q \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (5) относительно C_1 и C_2 , получим

$$C_2 = \frac{q}{2\nu} R_2^{1-2\nu}. \quad (6)$$

$$C_1 = T_0 - \frac{q R_2}{2\nu} \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{2\nu}. \quad (7)$$

Уравнение распределения температуры в алмазоносном слое будет иметь следующий вид:

$$T = T_0 + \frac{qR_2}{2\lambda\nu} \left[\left(\frac{R}{R_2} \right)^{2\nu} - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{2\nu} \right]. \quad (8)$$

Применительно к процессу алмазного шлифования представляет интерес величина температуры на поверхности алмазного круга ($R = R_2$), т.е. в зоне шлифования:

$$T(R_2) = T_0 + \frac{qR_2}{2\lambda\nu} \left[1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{2\nu} \right]. \quad (9)$$

Анализ уравнения (9) позволяет сделать вывод, что количество подаваемой охлаждающей жидкости ν позволяет существенно снизить температуру в зоне шлифования.

Объемный расход жидкости через пористый материал можно определить с помощью зависимости, установленной Дарси в результате экспериментальных исследований:

$$Q = k_\phi \cdot \frac{\Delta P}{H} \cdot S, \quad (10)$$

где Q – объемный расход жидкости через пористый материал, толщиной H ; S – площадь поперечного сечения пористого материала; ΔP – разность давлений жидкости перед пористым материалом и после; k_ϕ – коэффициент фильтрации, который зависит как от структуры пористого материала, так и от свойств фильтруемой жидкости.

Закон Дарси можно применить для расчета количества СОЖ, подаваемой через пористый алмазный круг в зону обработки изделия. Применяемая для этого формула Дарси имеет следующий вид:

$$Q = \frac{k \cdot \Delta P}{\mu \cdot H} \cdot S, \quad (11)$$

где k – коэффициент проницаемости, который не зависит от свойств жидкости и является динамической характеристикой только пористой среды; μ – динамический коэффициент вязкости жидкости.

Согласно данным, приведенным в работе [3], зависимость коэффициента проницаемости пористого материала k от среднего размера пор d_n имеет вид

$$K = k_0(d_n/d_0)^\nu, \quad (12)$$

где k_0 – значение коэффициента проницаемости при реперном значении среднего размера пор d_0 ; ν – постоянная для пористого материала из металлических порошков, причем значение ν близко к 1,5.

Получение пористого алмазного инструмента с анизотропной поровой структурой

На работоспособность шлифовальных кругов оказывают влияние свойства абразивных зерен, качество связки и структура самого инструмента, а также характеристики обрабатываемого материала (твердость, вязкость, упругость и др.). Известно, что алмаз обладает самой большой твердостью из всех известных в природе и созданных человеком материалов. Микротвердость алмаза по Виккерсу равна 10060 кгс/мм², алмаз имеет также высокий модуль упругости (90000 кгс/мм²). Именно высокий модуль упругости определяет высокую износостойкость алмаза. Благодаря высокой теплопроводности (коэффициент теплопроводности при температуре 0 °С равен 0,35 кал/см.с.град.) алмаз обеспечивает хороший отвод тепла из зоны обработки по сравнению с инструментами из других абразивных материалов, например твердых сплавов и корунда. Вышеуказанные свойства показывают, что алмаз является наиболее перспективным абразивным материалом. Однако, как было указано выше, алмаз обладает невысокой теплостойкостью. Низкая теплостойкость алмаза является одной из основных причин его разрушения в процессе шлифования, поскольку температура возникающая в зоне обработки, превышает критическую для алмаза (700–800 °С).

Поэтому большой интерес представляет применение пористых связок, которые создают более благоприятные условия для снижения температуры в зоне обработки, способствуют уменьшению засаливания кругов. Пористость и проницаемость алмазного инструмента позволяют обеспечить подачу через поры СОЖ в зону обработки.

Кроме того, важным фактором, влияющим на работоспособность алмазных кругов, является конструкция круга, в частности расположение алмазных зерен. По данным известного ученого П.И. Ящерицына, 80 % количества абразивных зерен на рабочей поверхности инструмента в процессе обработки не участвует, поэтому для повышения производительности процесса обработки необходима еще и определенная ориентация алмазных зерен на рабочей поверхности круга. Вследствие того, что количество подаваемой охлаждающей жидкости зависит от пористости и размеров пор пористого круга, а рабочий слой должен иметь высокие механические и режущие характеристики (когда пористость низкая, размер пор невелик, алмазные зерна строго ориентированы), то можно предположить, что наиболее эффективными являются пористые абразивные материалы, которые имеют анизотропную поровую структуру.

Наиболее перспективным методом получения пористых проницаемых материалов с анизотропной поровой структурой является метод формования порошков различного гранулометрического состава при наложении вибрации. Метод заключается в том, что при наложении вибрации происходит сегрегация частиц по размерам и в результате получают плоские пористые изделия с анизотропной поровой структурой. На основании проведенных экспериментальных исследований определены оптимальные параметры получения пористого алмазного инструмента плоской формы с анизотропной поровой структурой для шлифовально-полировальных работ, и разработан высокоэффективный пористый абразивный материал, который позволяет повысить производительность при обработке твердых сплавов более чем на 65 %.

Сущность способа изготовления пористого алмазного инструмента с анизотропной поровой структурой для шлифовально-полировальных работ заключается в следующем. Металлизированный алмазный порошок с зернистостью 20/14 и металлическую связку, состоящую из порошка бронзы марки Бр 10-1 с различным гранулометрическим составом с отношением размеров мелких D_m и крупных D_k частиц $D_m/D_k \leq 0,5$ засыпают в форму для спекания. Затем крепят к вибростолу вибрационного стенда и производят формование под воздействием вибрации, причем параметры вибрации определяют на основании полученной экспериментально зависимости [4]:

$$3,96 \cdot \exp(0,0103 \cdot f) \leq a \leq 8,78 \cdot \exp(0,012 \cdot f), \quad (13)$$

где a – ускорение вибрации, m/s^2 ; f – частота вибрации, Гц.

В диапазоне вышеуказанных параметров вибрации происходит сегрегация частиц по размерам металлической связки и металлизированных частиц алмазного порошка. После формования заготовки алмазного круга производят спекание в защитной среде (аргоне) при температуре 680–690 °С, в течение 1 ч. Структура разработанного пористого абразивного материала представлена на рис. 1. На рисунке видно, что алмазные зерна и поры равномерно распределены по всей площади образца. Проведенные экспериментальные исследования (см. рис. 2) показали, что пористый алмазный инструмент с анизотропной поровой структурой для шлифовально-полировальных работ с подачей смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) через поры по сравнению с известными типами алмазного инструмента с непористой связкой при обработке кремневой подложки позволяет повысить производительность, более чем на 65 %.

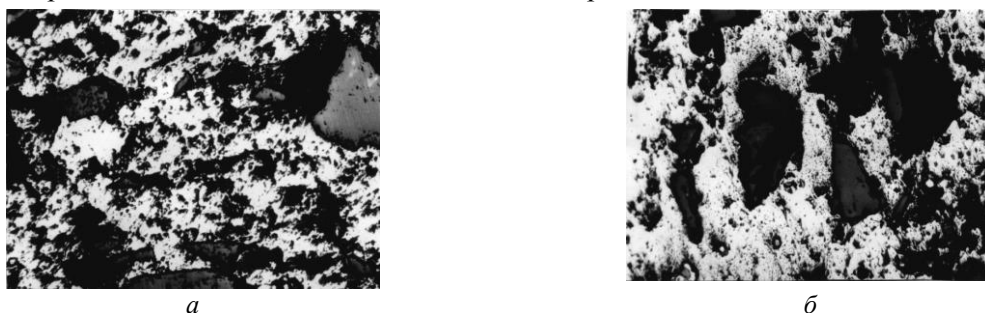


Рис. 1. Микроструктура пористого шлифовального материала на основе САП:
а – увеличение $\times 50$; б – увеличение $\times 100$

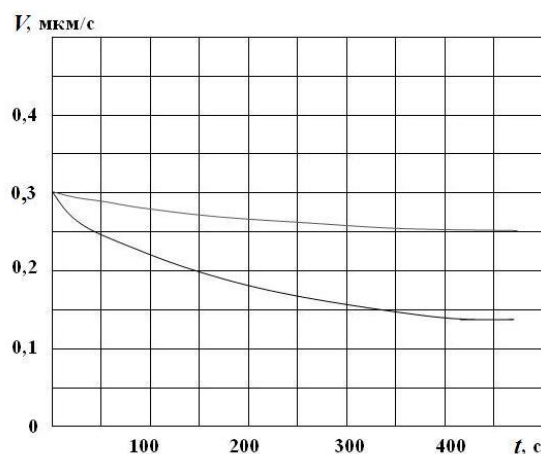


Рис. 2. Зависимость скорости съема материала при шлифовании кремневой подложки алмазным кругом с анизотропной пористой структурой (1) и компактной структурой (2)

Проведенные исследования позволили разработать технологию получения пористого алмазного инструмента, которая защищена патентом [5]. Необходимо также отметить, что данная технология позволяет получать алмазные круги плоской формы диаметром от 10 до 200 мм и толщиной от 1 до 10 мм, которые могут быть использоваться на шлифовально-полировальном оборудовании различного вида.

Заключение

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан способ получения пористого алмазного инструмента с анизотропной поровой структурой для шлифовально-полировальных работ с подачей смазочно-охлаждающей жидкости через поры, что позволяет повысить производительность работ при обработке материалов более чем на 65 %.

POROUS DIAMOND TOOLS WITH ANISOTROPIC PORE STRUCTURE FOR GRINDING AND POLISHING WORKS

L.P. PILINEVICH

Abstract

The results of the theoretical and experimental studies of the process of producing a porous diamond tool with anisotropic pore structure for grinding and polishing works with flow in the treatment area coolant through the pores of the tool are given. On the basis of the conducted theoretical and experimental studies porous abrasive material, which allows to increase productivity when machining hard more than 65 % is developed.

Keywords: abrasive material, pore structure, diamond, particle, coolant.

Список литературы

1. Эдвабник В.Г. // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–2
2. Яцерицин П.И., Караим И.П. // Изв. АН БССР, сер. физ.-техн. наук. 1972. № 2. С. 59–64.
3. Пилиневич Л.П. Пористые порошковые материалы с анизотропной структурой для фильтрации жидкостей и газов / Под ред. П.А. Витязя. Минск, 2005.
4. Пилиневич Л.П. // Докл. БГУИР. 2015 № 6 (92). С. 84–89.
5. Пилиневич Л.П., Забавский М.Т., Шеко Г.А., Азарова Т.К. Способ получения алмазного инструмента на порошковой металлической связке / Патент РБ № 5815.