

Выводы

1. Созданная мобильная автоматизированная система для исследования сигнала АЭ позволяет изучать особенности механообработки.
2. Разработана принципиально новая конструкция широкополосных датчиков акустической эмиссии за счет научно обоснованного метода демпфирования тыльной стороны пьезопластины с рабочей полосой частоты от 200–1200 кГц.
3. Установлено, что разработанную систему можно применять для диагностики шлифования и изучения особенностей шлифовальных кругов из СТМ.

Наведено автоматизовану систему дослідження оброблення і діагностики шліфування методом акустичної емісії. Застосовано принципово нові широкополосні датчики акустичної емісії з демпфуванням зворотного боку п'єзопластини. Розроблену систему застосовано для діагностики шліфування інструментом з НТМ.

Ключові слова: акустична емісія, широкополосний датчик, п'єзокераміка, неруйнівний контроль, шліфування, надтверді матеріали.

Automated system for the study of the processing and diagnosis of the state of the cutting tool by the acoustic emission method is presented. Principally new design of broadband acoustic emission sensors through science-based method of damping the back of the piezoceramic plates was established. The developed system has been applied for the diagnostics of grinding by the SHM tool.

Key words: acoustic emission, wide-band sensor, piezoceramic, non-destructive control, grinding, superhard materials.

Литература

1. Девин Л. Н., Нимченко Т. В., Осадчий А. А. Акустико-эмиссионная измерительная система для контроля за состоянием режущих инструментов // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. НТУ «ХПІ». – Х., 2008. – Вип. 2(17). – 508 с.
2. Пат. на винахід № 86818 від 25.05.2009. П'єзоелектричний перетворювач / Л. М. Девін, А. Г. Найдено, Т. В. Нимченко.
3. Девин Л. Н., Новиков Н. В. Широкополосные датчики акустической эмиссии для диагностики состояния режущих инструментов // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – № 4. – С. 81–85.

Поступила 24.05.2013

УДК 621.371

А. Ю. Филатов, канд. техн. наук, **С. В. Ковалев**, канд. техн. наук;
А. Г. Ветров¹; **Ю. Д. Филатов**, др. техн. наук; **М. А. Данильченко**²

¹Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

АЛМАЗНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ИЗ КВАРЦА

Описана обобщенная модель образования и удаления частиц шлама с обрабатываемой поверхности, позволившая рассчитать производительность полирования кристаллического кварца с помощью суспензии алмазных микропорошков. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие данные расчета.

Ключевые слова: полирование, алмазные микропорошки, кварц.

Введение

Широкое применение кристаллического кварца в оптоэлектронике, радиотехнике, оптическом и электронном приборостроении обусловлено его прозрачностью в видимой, ближней инфракрасной (ИК) и ультрафиолетовой (УФ) областях излучения (в диапазоне 190–2900 нм). Благодаря отсутствию пузырей и включений, бессвильности, люминесценции в УФ излучении, наличию двулучепреломления, высокой теплоустойчивости и объемной однородности показателя преломления, а также способности вращать плоскость поляризации кристаллический кварц все чаще применяют при создании высокоточных и высококачественных оптических компонентов для лазерной, поляризационной и спектральной оптоэлектронной техники. Высокая оптическая однородность и совершенство кристаллической решетки; относительно высокая твердость, высокая износостойкость рабочих поверхностей при эксплуатации; химическая стойкость к воздействию окружающей среды; нерастворимость в воде и других растворителях; низкий коэффициент теплового расширения; диэлектрические характеристики, обеспечивающие работоспособность в широких частотном и температурном интервалах и сильных электрических полях; широкий диапазон оптического пропускания; устойчивость к воздействию мощного лазерного излучения – далеко не полный перечень отличительных свойств кварца, благодаря которым он является незаменимым материалом для оптоэлектронного материаловедения.

Закономерности алмазного полирования кварца

Детали из кристаллического кварца в современном производстве изготавливают методами алмазно-абразивной обработки. Операции тонкого алмазного (ТАШ) и супертонкого алмазного (СТАШ) шлифования оптических поверхностей (ОП) деталей из кварца осуществляют с помощью функционально ориентированных алмазных инструментов со специальной характеристикой и конструкцией рабочего слоя. Заключительная операция полирования в общем случае осуществляется в один или два перехода: полирование инструментом со связанным полировальным порошком типа Аквапол и химико-механическое полирование (СМП) нанопорошками в свободном состоянии. Проблемы, возникающие при формообразовании прецизионных оптических поверхностей в процессе полирования деталей из кварца, сводятся к необходимости обеспечения стабильного во времени съема обрабатываемого материала (интенсивность изнашивания), а также управления формированием макропрофиля (точность формообразования) и микропрофиля (шероховатость) обработанных поверхностей.

Результаты исследований механизма съема обрабатываемого материала в процессе алмазно-абразивной обработки оптических поверхностей за последние десятилетия позволили объяснить целый ряд теоретических и экспериментальных закономерностей этого процесса. При исследовании контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемой детали при полировании ОП изучены механизм диспергирования частиц шлама и их распределение по размерам, описаны закономерности формообразования прецизионных поверхностей, разработаны методы управления точностью их формы за счет оптимизации кинематических и режимных параметров процесса и выбора функциональноориентированных конструкций и характеристик рабочего слоя инструмента, разработаны методики расчета интенсивности съема обрабатываемого материала и компьютерного моделирования микро- и макрорельефа взаимодействующих поверхностей детали и инструмента. К основным моделям при разработке технологических процессов формообразования ОП относятся кластерная модель износа взаимодействующих поверхностей обрабатываемой детали и полировального инструмента [1–4] и физико-статистическая модель образования и удаления частиц обрабатываемого материала (шлама) и частиц износа инструмента при финишной алмазно-абразивной обработке неметаллических материалов [5; 6].

Плоские поверхности деталей из кристаллического кварца – блоков диаметром 60 мм, на поверхности которых расположены четыре кристалла общей площадью 20,5 см², полировали на шлифовально-полировальном станке модели 2ШП-200М с помощью суспензии из алмазных микропорошков АСМ 2/1 на оловянном полировальнике диаметром 100 мм при частоте вращения притира 90 об./мин, усилие прижима детали к инструменту 50,5 Н, смещении штриха $e_p = 30$ мм, длине штриха $L = 50$ мм, максимальном расстоянии между центрами инструмента и детали $e_0 = \sqrt{e_p^2 + (L/2)^2} = 39$ мм и продолжительности цикла полирования 15 мин.

Производительность съема обрабатываемого материала при полировании рассчитывали на основе обобщенной модели образования и удаления из обрабатываемой поверхности частиц шлама. Объем снятого материала при полировании определяли с помощью коэффициента объемного износа η [7; 8]. В зависимости от размеров $d_1(i)$ частиц шлама и продолжительности их контакта с поверхностью инструмента коэффициент объемного износа рассчитывался по формуле

$$\eta = \sum_i \frac{d(i)^2}{4\beta(i)t_c}, \quad (1)$$

в которой значения $\beta(i)$ представляют собой корни трансцендентных уравнений

$$\frac{\exp(-\beta(i)^2)}{\sqrt{\text{erf}(\beta(i))}} = \frac{1}{N(i)S_i} \sqrt{L_t d_a S_c} \vartheta \quad (2)$$

где $N(i)$ – количество i -х частиц шлама на обрабатываемой поверхности; S_i – площадь поверхности i -й частицы; $L_t = 2\pi e_0$ – длина пути трения элемента обрабатываемой поверхности по поверхности рабочего слоя инструмента; d_a – средний размер зерен полировального порошка; S_c – площадь контакта поверхностей инструмента и детали; $\vartheta = \frac{\lambda T L_t}{p_a u S_c}$ – безразмерный параметр; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого

материала; T – температура в контактной зоне; p_a – номинальное давление прижима инструмента к детали; $u = \omega_1 e_p$ – скорость относительного перемещения инструмента и детали; ω_1 – угловая скорость вращения детали.

Параметры и характеристики кристаллического кварца [9; 10]: плотность $\rho = 2,65 \cdot 10^3$ кг/м³; статическая диэлектрическая проницаемость – 4,64; $\lambda = 10,7$ Вт/(м·К); энергия связи – 5,3 эВ (122 ккал/моль). Частоты собственных колебаний молекулярных фрагментов, определяемые по спектрам инфракрасного поглощения (ИК) или комбинационного рассеяния (КР), для SiO₂ составляют:

$\omega_{01} = 8,61 \cdot 10^{13}$ с⁻¹ (457 см⁻¹), $15,27 \cdot 10^{13}$ с⁻¹ (810 см⁻¹) и $20,28 \cdot 10^{13}$ с⁻¹ (1076 см⁻¹) [11], для алмаза $\omega_{02} = 21,4 \cdot 10^{13}$ с⁻¹ (1135 см⁻¹) и $25,1 \cdot 10^{13}$ с⁻¹ (1332 см⁻¹) [12]. Площадь поверхности i -й частицы шлама $S_i = S_0 (i + 1)$ (где $i = \overline{0, n-1}$; $n = 4$ – количество выборок). Площадь поверхности кластера S_0 зависит от структуры обрабатываемого материала и определяется в зависимости от количества молекулярных фрагментов $\xi = 84$. Для кристаллического кварца расстояния между соседними поверхностными молекулами и молекулярными слоями определяли постоянными решетки $a = 0,4903$ нм и $c = 0,5393$ нм [10]. Исходя из параметров структуры кварца с учетом соотношения $k_1 k_2 k_3 = \xi = 84$ ($k_1 = 3$; $k_2 = 4$; $k_3 = 7$) через постоянные решетки можно определить площадь поверхности кластера $S_0 = 2k_1 k_2 a^2 + 2k_1 k_3 a c + 2k_2 k_3 a c \approx 32,86 \cdot 10^{-18}$ м² и соответственно размеры частиц шлама $S_i = S_0 (i + 1)$. Частицы шлама подчиняются распределению Пуассона по площадям поверхности с параметром $\nu = 0,476$ и имеют размеры $d_1(i) \approx [S_i/\pi]^{1/2} \approx 3,2; 4,6; 5,6; 6,5$ нм и наиболее вероятный размер $a_\nu = 3,8$ нм.

Концентрацию частиц шлама на обрабатываемой поверхности (м⁻²с⁻¹) определяли по формуле

$$N_0 = \frac{\omega_{123}}{4\pi^3 l_0^2} v e^{-v};$$

количество i -х частиц шлама на площади S_c за время контакта абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью $t_c = d_a / u$ с учетом их распределения $P(i,v)$ по размерам – по формуле $N(i) = N_0 P(i,v) S_c t_c$. Толщину зазора l_0 между поверхностями инструмента и детали, заполненного водной суспензией алмазных микропорошков, принимали равной среднему размеру их зерен.

С учетом значения статической диэлектрической постоянной алмаза 5,68 [12] рассчитали значение константы Лифшица – $1,15 \cdot 10^{-21}$ Дж (0,007 эВ) на частоте $\omega_{123} = 1,1 \cdot 10^{13}$ с⁻¹ и концентрации частиц шлама $N_0 = 1,1 \cdot 10^{22}$ м⁻²с⁻¹.

В результате решения численными методами n уравнений (2) и расчетов по формуле (1) определили значения коэффициента $\eta = 9 \cdot 10^{-12}$ м²/с объемного износа, а также производительность полирования $Q = \eta L_t$ кристаллического кварца в этих условиях, которая составляет $2,2 \cdot 10^{-12}$ м³/с и незначительно отличается (погрешность расчета – 11,9 %) от экспериментального значения $2,5 \cdot 10^{-12}$ м³/с (линейный съем – 0,4 мг/мин или 0,07 мкм/мин).

Выводы

Таким образом, с помощью обобщенной модели образования и удаления из обрабатываемой поверхности частиц шлама можно расчетным путем определить производительность съема при полировании плоских поверхностей деталей из кристаллического кварца. Установлено, что коэффициент объемного износа по аналогии со всеми известными коэффициентами переноса является наиболее информативным параметром, определяющим эффективность взаимодействия инструмента и обрабатываемой детали при механической обработке, а значит, интенсивность съема обрабатываемого материала и производительность полирования кристаллического кварца. Экспериментальные исследования подтвердили результаты теоретических расчетов производительности съема обрабатываемого материала при алмазном полировании кристаллического кварца.

Описано узагальнену модель утворення та видалення частинок шламу з оброблюваної поверхні, що дала змогу розрахувати продуктивність полірування кристалічного кварцу за допомогою суспензії алмазних мікропорошків. Наведено результати експериментів, що підтверджують дані розрахунку.

Ключові слова: полірування, алмазні мікропорошки, кварц.

The generalised model of formation and removal of particles slime from the processed surface which use has allowed to calculate productivity at polishing of crystal quartz by means of suspension of diamond micropowders is described. Results of the experiments, confirming data of calculation are resulted.

Key words: polishing, diamond micropowders, quartz.

Литература

1. Филатов Ю. Д. Полирование алюмосиликатных материалов инструментом со связанным полировальным порошком // Сверхтвердые матер. – 2001. – № 3. – С. 36–49.
2. New technology of precision polishing of glass optic / V. V. Rogov, Y. D. Filatov, W. Kottler, V. P. Sobol // Optical Engineering. – 2001. – V. 40. – P. 1641–1645.
3. Филатов Ю. Д., Рогов В. В. Кластерная модель механизма усталостного износа SiO₂-содержащих материалов при их полировании инструментом со связанным полировальным порошком на основе диоксида церия. Ч. 1 // Сверхтвердые матер. –

1994. – № 3. – С. 40–43.
4. Филатов Ю. Д. Полирование прецизионных поверхностей деталей из неметаллических материалов инструментом со связанным полировальным порошком // Сверхтвердые матер. – 2008. – № 1. – С. 59–66.
 5. Филатов Ю. Д., Сидорко В. И. Статистический подход к износу поверхностей деталей из неметаллических материалов при полировании // Сверхтвердые матер. – 2005. – № 1. – С. 58–66.
 6. Филатов Ю. Д. Теоретические основы финишной обработки высококачественных прецизионных оптических поверхностей // Сб. междунар. акад. КОНТЕНАНТ. – 2009. – С. 19–30.
 7. Филатов Ю. Д. Взаимодействие частиц шлама и износа в зоне контакта инструмента и детали при полировании неметаллических материалов // Зб. наук. пр. «Високі технології в машинобудуванні». – 2009. – Вип. 2(19). – С. 201–206.
 8. Ковальов С. В. Підвищення ефективності фінішної обробки складнопрофільних поверхонь деталей з природного каменю: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – К., 2011. – 20 с.
 9. macrooptica.org/kristallicheskiy-kvarts.html
 10. Физическая энциклопедия: / в 5 т. / Под ред. А. М. Прохорова. – М.: Сов. энцикл. – Т. 2. – 1990. – С. 344–345.
 11. Kirk C. T. Quantitative analysis of the effect of disorder-induced mode coupling on infrared absorption in silica // Phys. Rev. – 1988. В 38 (2) – Р. 1255–1273.
 12. Физические свойства алмаза: Справочник / Под ред. Н. В. Новикова. – К.: Наук. Думка, 1987. – 190 с.

Поступила 25.05.13

УДК 621.921:547.639

Е. А. Пашенко, д-р техн. наук, **А. Н. Черненко**; **В. В. Шатохин**,
О. В. Лажевская, кандидаты технических наук, **Д. А. Савченко**

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ С СТМ НА ОСНОВЕ ПОЛИОГРАНОСИЛОКСАНОВ

Рассмотрены особенности структуры и получения, а также свойства абразивных композитов полученных, путем спекания-конденсации силоксановых олигомеров.

Ключевые слова: алмазный инструмент, полиорганосилоксаны, низкотемпературная керамика.

Введение

Шлифовальные инструменты из алмаза и КНБ на керамических связках незаменимы для многих основных операций производства машиностроительной продукции. Эффективность этого класса абразивных композитов обусловлена возможностью совмещения высокой производительности удаления припуска при шлифовании наиболее труднообрабатываемых сплавов с достижением заданных высоких показателей качества обработанных поверхностей. Однако производство подобных материалов на основе