

13. Полирование элементов оптико-электронной техники из монокристаллического карбида кремния / Ю.Д. Филатов, А.Г. Ветров, В.И. Сидорко и др. // Сверхтв. материалы. – 2015. – № 1. – С. 63–71.
14. Файнер Н.И. Тонкие пленки карбонитридов кремния и бора: синтез, исследование состава и структуры / Н.И. Файнер, М.Л. Косинова, Ю.М. Румянцев / Рос. хим. журн. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. – 2001. – № 3. – Т. XLV. – С. 101–108.
15. Исследование стойкости к окислению, механических характеристик материалов на основе МАХ-фаз систем Ti–Al–(C, N) и возможности их использования в качестве инструментальных связок и для полирования / Т.А. Прихна, А.В. Старостина, Д. Лицендорф и др. // Сверхтвердые матер. – 2014.– № 1. – С. 14–26.
16. Физические свойства алмаза : справочник / под ред. Н.В. Новикова. – К.: Наук. думка, 1987. – 188 с.
17. Dielectric properties of Ti₂AlC and Ti₂AlN MAX phases: The conductivity anisotropy / N. Haddad, E. Garcia-Caurel, L. Hultman et al. // J. of Appl. Phys. – 2008. – V. 104. – P. 023531–10.

Поступила 25.05.15

УДК 621.941:534.647

Г. Г. Добровольский, д-р техн. наук¹, С. В. Рычев, аспирант²

¹ТОВ «УНВЦНТ», г. Киев, Украина

²Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМЫ ПРОТАЧИВАЕМОЙ МЕТАЛЛООПТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ АЛМАЗНОМ МИКРОТОЧЕНИИ

Предложен метод точения оптической поверхности заданного качества при алмазном микроточении по зависимости значений RMS (среднеквадратическое отклонение волнового фронта) от значений составляющих сил резания P_z/P_y . Аналитически и экспериментально исследовано влияние геометрических параметров реза (радиуса округления режущей кромки реза ρ , переднего угла γ , заднего угла α , режимов резания – глубины резания t , подачи на оборот при резании S_o , на составляющие сил резания P_x, P_y, P_z .

Ключевые слова: алмазное микроточение, косоугольное резание, угол косоугольного резания λ , соотношение сил резания P_z/P_y , радиус округления режущей кромки ρ , шероховатость поверхности R_z , точность протачиваемой поверхности (среднеквадратическое отклонение волнового фронта RMS), задний угол резания α , передний угол резания γ , глубина резания t , подача на оборот при резании S_o .

Введение

Алмазное микроточение – современный метод сверхточной обработки, при котором точность формы достигается с помощью алмазного монокристаллического резца, высокоточного станка, технологических методов алмазного микроточения и ЧПУ. Алмазное микроточение реализуется на особо точных станках. Такие станки разрабатывают в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины [1, 2]. За рубежом подобные станки разрабатывают и изготавливают специалисты фирм, AOS (Apollo Optical System), Nanophorm, (LLNL) (Ливерморская национальная лаборатория [2, 3, 4] и др.

Общий вид станка алмазного микроточения САТ1807, для обработки плоских, сферических и асферических поверхностей диаметром до 600 мм показан на рис.1. Согласно кинематике этого станка создается постоянный контакт по длине режущей кромки с обрабатываемой заготовкой (рис. 2, б). При этом возможны глубина резания $t = 2 - 5$ мкм, подача $S_o = 2 - 10$ мкм/об., радиус лезвия резца в плане 1 – 6 мм; длина контакта режущей кромки с обрабатываемым материалом по передней грани ≈ 80 мкм.

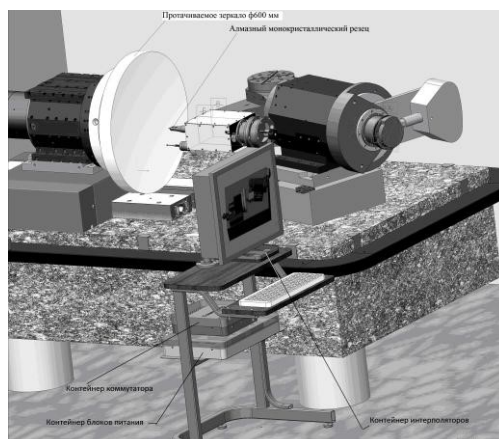


Рис. 1. Общий вид станка алмазного микроточения SAT1807

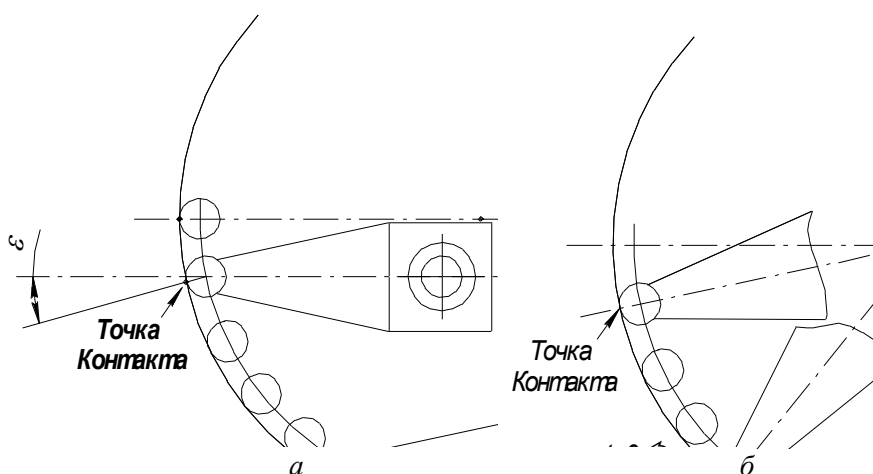


Рис. 2. Кинематика движения режущей кромки относительно обрабатываемой заготовки на станках: а – фирмы Nanophorm; б – ИСМ SAT1807

Участвующий в проточке зеркальной поверхности контакт резца показан на рис.2. Как видим (рис. 2 а), кинематика станка фирмы Nanophorm при проточке сферы и асферики (продольным перемещением суппорта относительно плоскости детали и поперечного перемещения шпинделя) осуществляет контакт режущей кромки резца с обрабатываемой заготовкой переменным участком одной и той же длины лезвия, определяемым углом ε . Этот угол при движении увеличивается от центра заготовки к периферии [5]. На станке SAT1807 (рис. 2, б) для любого момента резания угол контакта режущего инструмента с заготовкой равен $\varepsilon = 0^\circ$.

Согласно такой особенности кинематики на станке SAT1807 можно обрабатывать участком режущей кромки резца с наибольшей износостойкостью в силу особенности кристаллографии монокристалла алмаза (как известно, в разных направлениях кристаллографических осей износостойкость алмаза различается) [6].

Проблема. Качество проточенной оптической поверхности можно оценивать следующими параметрами: коэффициентом зеркального отражения (85 – 96 %); степенью отклонения формы протачиваемой поверхности путем определения значений среднеквадратического отклонения волнового фронта (λ - длина волны контролирующего луча света) $RMS = \lambda:10 \sim \lambda:100$ (0,02 – 0,006 мкм). На параметры качества протачиваемой зеркальной поверхности влияют параметры геометрии резца и режимов резания. В то же время приведенные закономерности и сверхточное оборудование не позволяют точно определять перед обработкой металлооптических поверхностей эффективность и качество получаемой продукции.

Гипотеза. При отношении сил резания $P_z/P_y \leq 1$ качество обработки и стойкость режущего инструмента повысится [7; 8], так как на качество протачиваемой зеркальной поверхности влияют

силы резания. Схема распределения сил резания во время обработки металлооптических поверхностей различной формы на станке ИСМ НАН Украины показана на рис. 3.

Влияние геометрических параметров – радиуса округления режущей кромки ρ и переднего угла γ – на соотношение рассчитанных по модели составляющих сил резания P_z/P_y показано на рис. 4. [8].

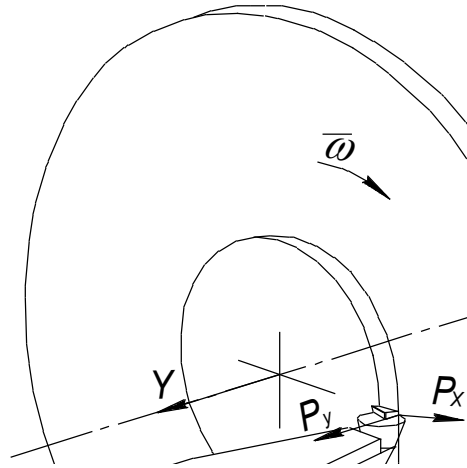


Рис. 3. Распределение сил резания при алмазном микрооточении на станке ИСМ НАН Украины

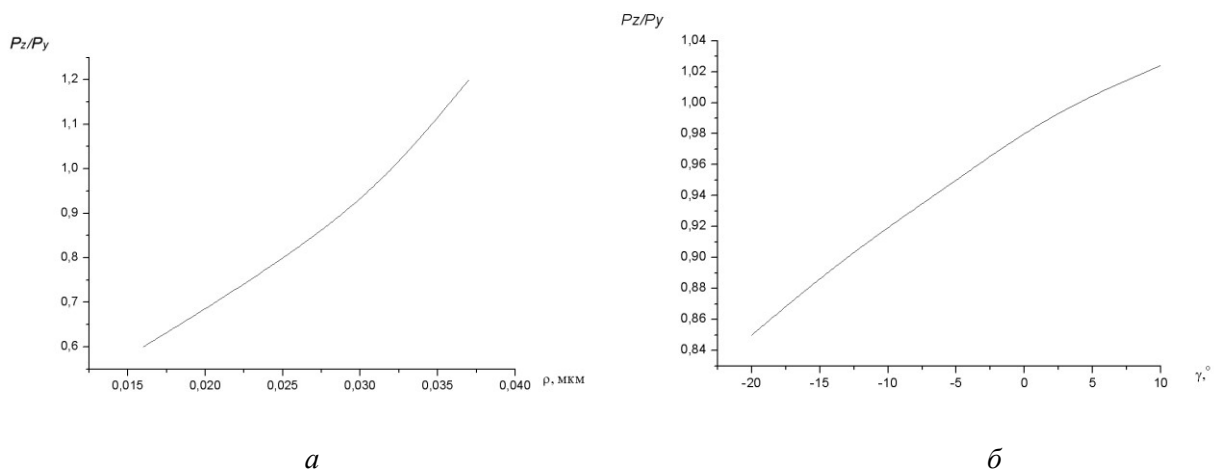


Рис. 4. Зависимости соотношения P_z/P_y (обрабатываемый материал – алюминиевый сплав АМГб): а – от радиуса округления ρ (при $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, постоянной глубине резания $a_1 = 2$ мкм, подаче $S = 1$ мкм/об.); б – переднего угла γ при $\rho = 0,03$ мкм, постоянной глубине резания $a_1 = 2$ мкм, подаче $S = 1$ мкм/об.

Как видим при увеличении радиуса округления ρ , соотношение сил резания P_z/P_y увеличивается (рис. 4, а). Это подтверждает гипотезу о том, что для наиболее качественной обработки металлооптических изделий следует применять резец с режущей кромкой наименьшего радиуса округления. При изготовлении монокристаллических резцов радиус округления $\rho \geq 0.03$ мкм [2]. При увеличении переднего угла γ соотношение сил резания P_z/P_y также увеличивается, что, в свою очередь, способствует снижению качества обработки (рис. 5). Зависимость шероховатости изделия R_z от соотношения сил резания также рассчитываем по модели [2; 8].

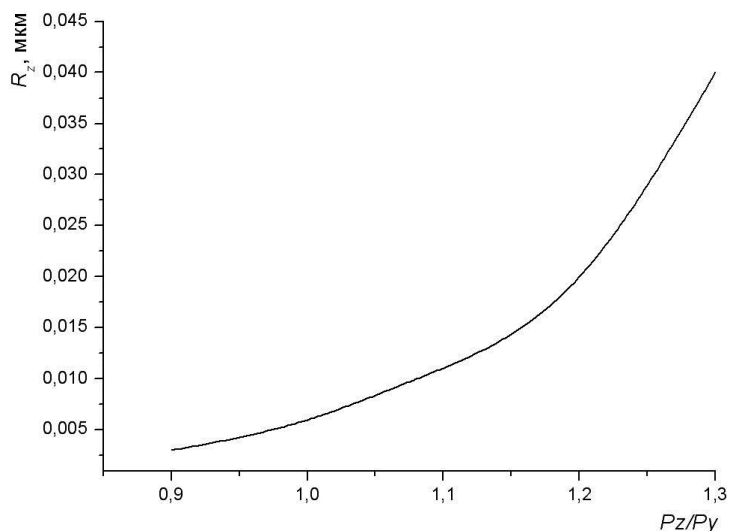


Рис. 5. Зависимость шероховатости изделия R_z от соотношения сил резания P_z/P_y при $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, $\rho = 0,03$ мкм. постоянной глубине резания $a_1 = 2$ мкм, подаче $S = 1$ мкм/об., (обрабатываемый материал – алюминиевый сплав АМГ6)

Экспериментальное исследование

В процессе обработки соотношение P_z/P_y можно определить датчиком сил резания. Качество обработанной готовой зеркальной поверхности можно оценивать по значению RMS, которое определяют интерферометром, и соответствующей компьютерной программе. Результаты контроля обработанной зеркальной поверхности показаны на рис. 6.

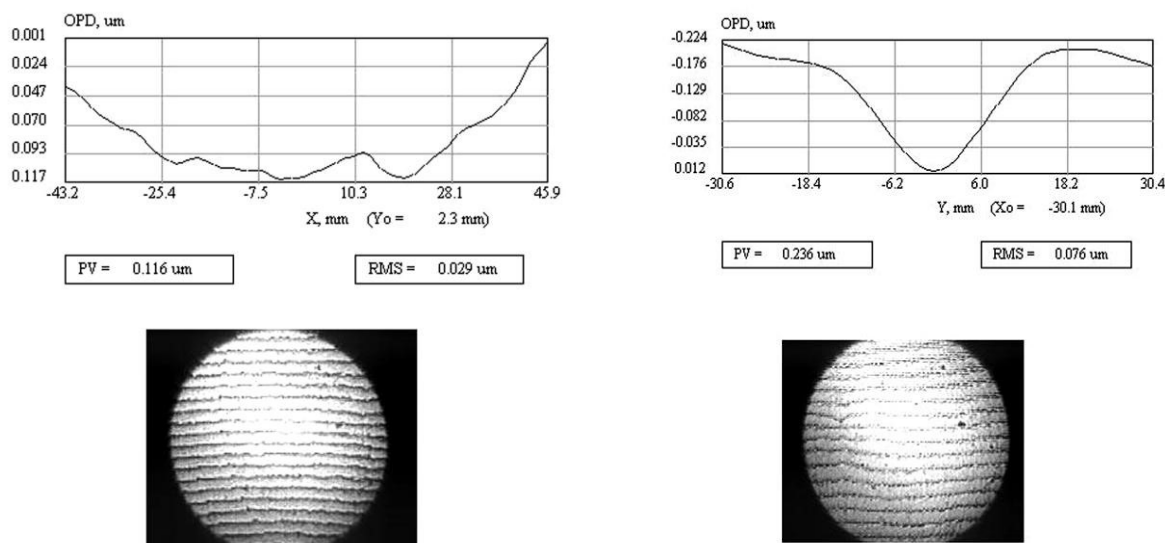


Рис. 6. Результаты контроля обработанной зеркальной поверхности при соотношении сил резания: а – $P_z/P_y = 0,7$; б – $P_z/P_y = 1,5$

Указанные на рис. 6 значения RMS свидетельствуют о следующем: при $RMS = 0,029$ мкм и $P_z/P_y = 0,7$ точность и качество обработки выше, чем при $RMS = 0,076$ мкм и при соотношении сил резания $P_z/P_y = 1,5$. Следовательно, качество зеркальной оптической поверхности можно повысить путем изменения параметров точения, от которых зависит достижение требуемого соотношения P_z/P_y , а также RMS .

Повышение эффективности точения путем косоугольного резания. Для повышения эффективности режущего инструмента при обработке поверхностей, резец следует поворачивать

резец вокруг его оси (OY). При этом будет изменяться угол косоугольного резания λ . Геометрические параметры резца показаны на рис. 7. в главной секущей плоскости P_τ контактной зоны резания (где действуют составляющие силы резания P_y, P_z) геометрические параметры будут изменяться при $\lambda > 0^\circ$. Радиус округления ρ , передний угол γ и задний угол α в сечении P_τ обозначим $\rho_1, \gamma_1, \alpha_1$.

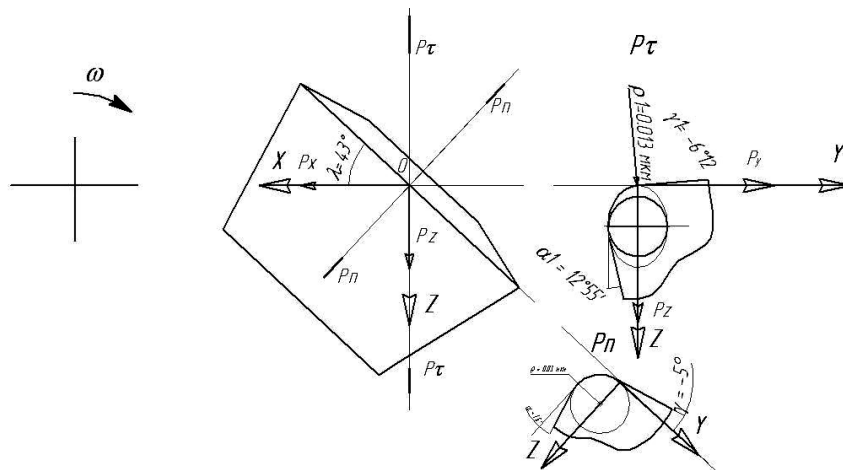


Рис. 7. Сечение P_τ монокристаллического алмазного резца ($\gamma_1 = -6^\circ 12'$, $\alpha_1 = 12^\circ 55'$, $\rho_1 = 0,013$ мкм) при $\lambda = 43^\circ$ и P_n ($\gamma = -5^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\rho = 0,03$ мкм) при $\lambda = 0^\circ$ ($M 100\ 000:1$)

Радиус округления режущей кромки в главной секущей плоскости P_τ при $\lambda > 0^\circ$ имеет форму части эллипса (рис. 7). Радиус кривизны вершины эллипса по большему диаметру соответствует радиусу округления режущей кромки резца в этой точке: $\rho_1 < \rho$ согласно уравнению эллипса.

Зависимость радиуса округления режущей кромки резца при $\rho = 0,03$ мкм показана на рис. 8.

$$\rho_1(\lambda) = \frac{\rho}{\cos(\lambda)} - \sqrt{\frac{\rho^2}{\cos^2(\lambda)} - \rho^2} \quad (1)$$

где $\rho_1 = 0,013$ мкм при $\lambda = 43^\circ$; $\rho = 0,03$ мкм.

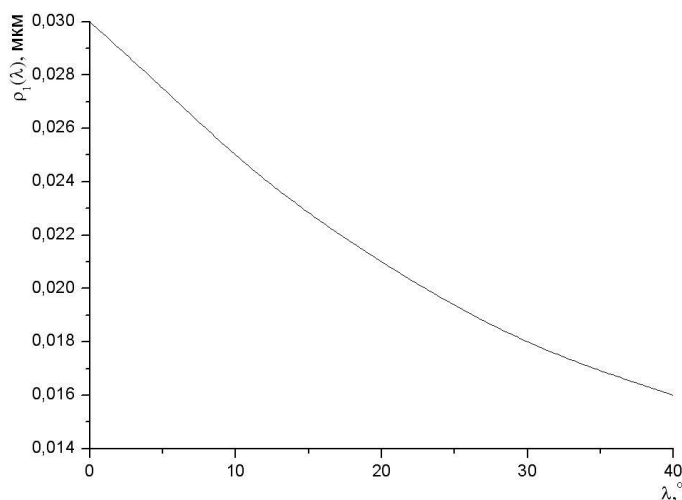


Рис. 8. Зависимость радиуса округления режущей кромки резца ρ_1 (вершина эллипса) от угла λ

Как видно на рис. 9, при угле $\lambda = 30^\circ$, $\gamma = -15^\circ$, γ_1 уменьшается до $-17^\circ 11'$. Задний угол $\alpha = 15^\circ$ уменьшается до $\alpha_1 = 12^\circ 55'$ при $\lambda = 30^\circ$. Зависимости заднего α и переднего γ углов резания от λ рассчитывают по формулам:

$$\alpha_1(\lambda) = \text{actg} \frac{\text{ctg}(\alpha)}{\cos(\lambda)} ; \quad (2)$$

$$\gamma_1(\lambda) = \text{atg} \frac{\text{tg}(\gamma)}{\cos(\lambda)} .$$

Графически указанные зависимости иллюстрирует рис.9.

Зависимость составляющих сил резания P_z/P_y от угла поворота λ согласно модели показаны на рис. 10.

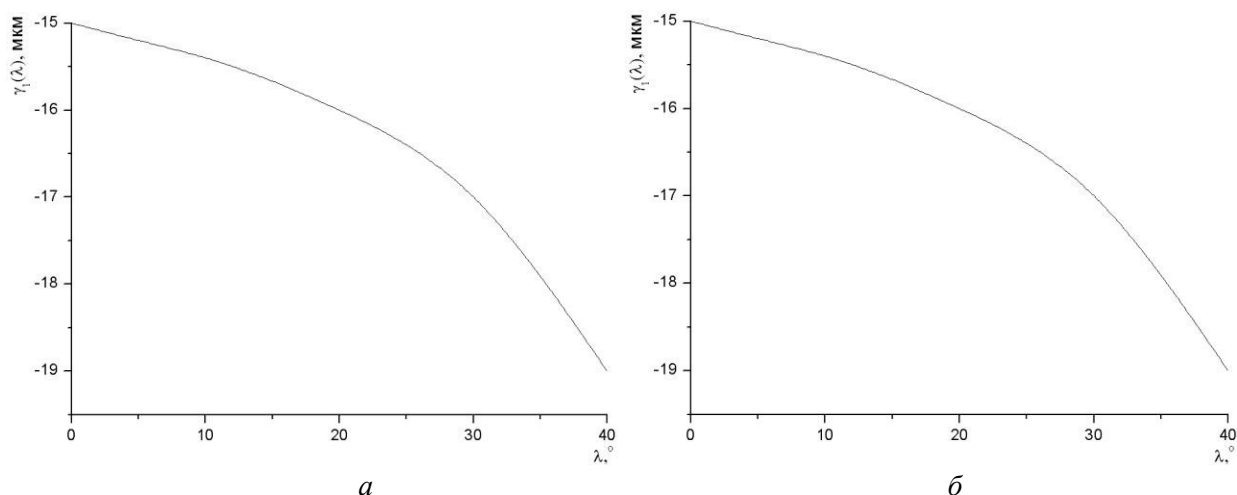


Рис. 9. Зависимости от угла λ : а – переднего угла при $\gamma = -15^\circ$; б) – заднего угла при $\alpha = 15^\circ$

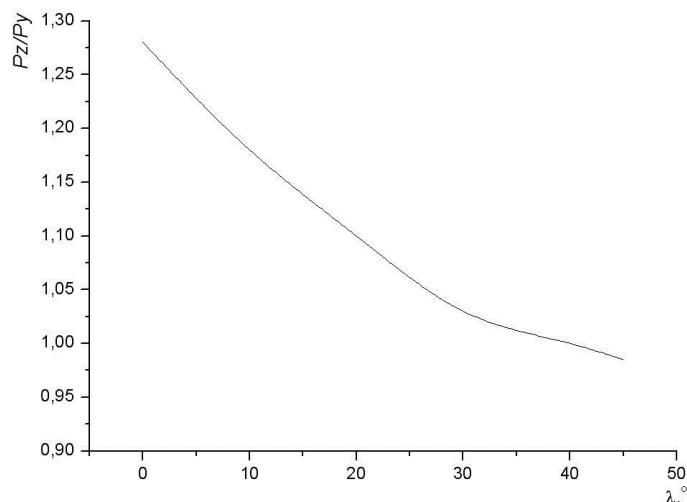


Рис. 10. Зависимость P_z/P_y от λ для резца с при $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\rho = 0,03$ мкм постоянной глубине резания $a = 5$ мкм, подаче $S = 1$ мкм/об. (обрабатываемый материал – алюминиевый сплав АМГб)

Таким образом, поворачивая резец на угол λ , можно изменять соотношение составляющих сил резания.

Выводы

1. Предложен метод, согласно которому качество протачиваемой зеркальной оптической поверхности RMS зависит от отношения сил резания P_z/P_y .

2. Как показали теоретическое и экспериментальное исследования при соотношении составляющих сил резания $P_z/P_y \leq 1$, качество обработки зеркальной металлооптической поверхности повышается.

3. Поворачивая резец вокруг оси OY на угол λ (угол косоугольного резания λ), можно изменять геометрические параметры резания в главной секущей плоскости (радиус округления режущей кромки, передний и задний углы резания).

При $\lambda > 0^\circ$ в сечении главной плоскости резца радиус округления режущей кромки ρ_1 имеет геометрию радиуса кривизны эллипса и становится меньше ρ в вершине большой своей оси, радиуса округления режущей кромки в сечении по нормали (контакт резания); при соотношении $\rho_1 < \rho$ силы резания снижаются, и качество протачиваемой зеркальной поверхности повышается.

Запропоновано метод точіння оптичної поверхні заданої якості при алмазному мікроточінні за залежністю значень RMS (середньоквадратичне відхилення хвильового фронту) від значень складових сил різання P_z/P_y . Аналітично і експериментально досліджено вплив геометричних параметрів різця (радіусу заокруглення різальної кромки різця ρ , переднього кута γ , заднього кута α , режимів різання – глибини різання t , подачі на оберт при різанні S_o , на складові сил різання P_x, P_y, P_z .

Ключові слова: алмазне мікроточіння, косокутне різання, кут косокутного різання λ , співвідношення сил різання P_z/P_y , радіус заокруглення різальної кромки ρ , шорсткість поверхні R_z , точність проточуваної поверхні (середньоквадратичне відхилення хвильового фронту RMS), задній кут різання α , передній кут різання γ , глибина різання t , подача на оберт при різанні S_o .

Proposed a method of turning the optical surface at a given quality diamond turning depending on the values of RMS (root mean square deviation of the wavefront) of any components of the cutting forces P_z/P_y . Conducted analytical and experimental studies of the effect of geometrical parameters of the cutter – namely, rounding radius cutting edge of the blade ρ , rake angle γ , the rear corner of α , cutting – cutting depth t , feed per revolution in the process of cutting S_o , on components of cutting forces P_x, P_y, P_z .

Key words: *diamond microturning, an oblique cutting, cutting oblique angle λ , the ratio of the cutting forces P_z/P_y , the radius of the cutting edge rounding ρ , the surface roughness R_z , surface accuracy RMS, back cutting angle α , front cutting angle γ , cutting depth t , feed per revolution S_o .*

Литература

1. Грубый С. В. Повышение эффективности прецизионной обработки резцами, оснащенными природными алмазами / С.В. Грубый, Муратова // Изв. вузов. Машиностроение. – 1990. – № 9. – С. 107 – 112.
2. Модель процесса алмазного точения и технологические рекомендации по обработке поверхностей металлооптических элементов. Работа выполнена в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований (№ 07-08-92103).
3. Application of precision diamond machining to the manufacture of micro-photonics components Lithographic and Micromachining Techniques for Optical Component Fabrication / J. Bryan, E. Brinksmeier, B. Cassin, et al.; ed. by E.-B. Kley, H.P. Herzig. – SPIE, Bellingham, WA. – 2003. – P. 96–97.
4. John B. P. Scaling Down Of Manufacturing Systems: Meso And Nano Level Machining – an analysis / B.P. John // Master of Sci. – 2003. – P. 11–14.
5. Roblee Jeff. Factors affecting surface finish in diamond turning / Jeff Roblee // Precitech, inc. – 2006. – P. 1–4.
6. Добровольский Г. Г. Способ повышения стойкости резца при алмазном микроточении / Г. Г. Добровольский Ю. А. Дятлов // Сверхтвердые матер. – 1993., – № 3. – С. 56–59.
7. Добровольский Г. Г. Введение в механику алмазного микроточения / Г. Г. Добровольский // Журн. асоціації технологів-машинобудівників України. – 2000. – № 5-6. – С. 37–54.
8. Математическая модель процесса алмазного микроточения для оптимизации технологических параметров обработки: сб. науч. тр. / Е. В. Гомеляко, Г. Г. Добровольский, П. Ю. Саксеев, Д. А. Шевченко – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – С. 45–56.

Поступила 02.06.15

УДК: 621.921.079-620.179.52(04)

К. Хайдаров, канд. физ.-мат. наук; **А. К. Арыков**

БЕЗКОБАЛЬТОВАЯ МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СВЯЗКА ДЛЯ РЕЗКИ ПРИРОДНЫХ КАМНЕЙ

Институт физико-технических проблем и материаловедения им. Ж.Жеенбаева НАН КР, г. Бишкек

Предложена безкобальтовая металлическая связка алмазного инструмента для резания природных камней, обеспечивающая достаточно высокую стойкость алмазных кругов.

Ключевые слова: *металлическая связка, режущая способность, износостойкость, абразивный инструмент.*

В связи с дефицитностью и высокой стоимостью кобальта разработка безкобальтовых связок является важнейшей проблемой, решение которой позволит расширить ассортимент соответствующих инструментовинструментов.

Результаты анализа опубликованных материалов по разработке металлических связок для алмазной дисковой пилы свидетельствуют, что для любого технологического процесса обработки,