

References:

1. Shnira A.V., Chapaliuk B.V., Alimov A.I. Pidvishchennia tochnosti 3D-druku. *Tezi dopovidei Mizhn. nauk.-tehn. konf. «Technical Using of Measurement»* [Improve 3D-printing accuracy. Proceedings of Int. Sci.-Pract. Conf. «Technical Using of Measurement»]. Slavs'ke, 2015, pp. 112-115. (Ukr.)
2. GOST 4648-73. *Plastmassy. Metod ispytaniia na staticheskii izgib* [Plastics. Static bending test method]. Moscow, Komitet standartizatsii i metrologii SSSR Publ., 1973. 10 p. (Rus.)
3. Kamonichkina N.V., Kocheshkov I.V. *Issledovanie prochnostnykh kharakteristik model'nogo materiala, poluchaemogo metodom FDM-pechati s ispol'zovaniem ABS-plastika* (The study of the strength characteristics of the model material obtained by FDM printing using ABS plastic) Available at : www.st3d.ru/kamonichkin/strength_of_3dprint_products (accessed 15 July 2019) (Rus.)
4. Kolian M. *Osnovy 3D-modelirovaniia dlia 3D-pechati* [3D-modeling basics for 3D-printing] Available at : www.habr.com/ru/post/417605 (accessed 05 June 2019) (Rus.)
5. Balashov A.V., Markova A.V. *Issledovanie struktury i svoistv izdelii, poluchennykh 3D pechat'iu* [Study of the structure and properties of products obtained by 3D-printing]. *Inzhenernyi vestnik Dona – Engineering Herald of Don*, 2019, no. 1, pp. 1-15. (Rus.)
6. *3D-printer. Zapolnenie i prochnost'. Funktsional'nyi dizain za predelami CAD* (3D-printer. Filling and strength. Functional Design Outside of CAD) Available at : www.wikihandbk.com/wiki/3D (accessed 3 May 2019) (Rus.)
7. Savvakis K., Petousis M., Vairis A.M., Vidakis N., Bikmeyer L.T. Experimental determination of the tensile strength of fused deposition modeling parts. *American Society of Mechanical Engineers-International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, 2014, pp. 1-6. doi: 10.1115/IMECE2014-37553.

Рецензент: О.О. Анділахай
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 16.10.2019

УДК 621.923.74

doi: 10.31498/2225-6733.39.2019.201064

© Бурлаков В.І.*

ДО ПИТАННЯ ПРО ОБРОБЛЮВАННІСТЬ НІТРИДНОЇ КЕРАМІКИ М'ЯКИМ АБРАЗИВНИМ ЗЕРНОМ

Розвиток сучасного машинобудування пов'язаний з розробкою і впровадженням нових матеріалів і прогресивних технологічних процесів їх обробки. Унікальні властивості кераміки дозволяють використовувати її в різних областях техніки, в тому числі в якості різального інструменту та деталей машин, приладів, радіоелектронної апаратури. Через високу твердість матеріалу механічна обробка перелічених заготовок можлива лише з використанням синтетичного алмазу, але синтетичні алмази досить дорогі, тому необхідно вирішувати проблему заміни дорогих матеріалів на більш дешеві. У статті зроблена спроба розкрити можливість обробки м'яким абразивом нітридної кераміки, яка є набагато твердішою за абразив. Зроблено припущення про те, що м'який абразив у процесі зносу не припиняє роботу по видаленню матеріалу з керамічної поверхні. Доведено графічно та математично, що знімання матеріалу не припиняється.

Ключові слова: м'який абразив, нітридна кераміка, видалення матеріалу, керамічна поверхня, абразивне зношування інструменту, різальна кромка інструменту, сферичні мікрочастинки, вириви.

* канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

Бурлаков В.И. К вопросу об обрабатываемости нитридной керамики мягким абразивным зерном. Развитие современного машиностроения связано с разработкой и внедрением новых материалов и прогрессивных технологических процессов их обработки. Уникальные свойства керамики позволяют использовать ее в различных областях техники, в том числе в качестве режущего инструмента и деталей машин, приборов, радиоэлектронной аппаратуры. Из-за высокой твердости материала механическая обработка перечисленных заготовок возможна только с использованием синтетического алмаза, но синтетические алмазы достаточно дорогие, поэтому необходимо решать проблему замены дорогих материалов на более дешевые. В статье сделана попытка раскрыть возможность обработки мягким абразивом нитридной керамики, которая намного тверже абразива. Сделано предположение о том, что мягкий абразив в процессе износа не прекращает работу по удалению материала с керамической поверхности. Доказано графически и математически, что съем материала не прекращается.

Ключевые слова: мягкий абразив, нитридная керамика, удаление материала, керамическая поверхность, абразивный износ инструмента, режущая кромка инструмента, сферические микрочастицы, отрывы.

V.I. Burlakov. On the question of nitride ceramics processing with soft abrasive grain. Development of modern mechanical engineering relates to development and introduction of new materials and progressive technological processes of their treatment. Unique properties of ceramics make it possible to use ceramics in different areas of engineering that is as cutting instruments, details of machines, devices, radioelectronic apparatus. Due to high hardness machining of ceramics is possible only with the use of synthetic diamonds, but synthetic diamonds are rather expensive that is why it is necessary to use cheaper materials instead of expensive synthetic diamonds. To improve the treatment of ceramics it is necessary to study the rules and regularities of the complicated and multivariable polishing process. Productivity, surface quality, wear and firmness of instrument result from the properties of ceramics, diamond instrument performance, modes and from the technological features of the equipment. Providing high quality of accurate ceramic details surface is a difficult technical task. Besides roughness that results from the conditions under which the instruments are used it is highly necessary to have neither microcracks nor microcavities. As ceramic materials are fragile, all ceramic ware has a tendency to shearing off under load at cutting and polishing. Point loading at low yield makes the ceramics crumble out under strong mechanical and thermal loading of the diamond grains. And there forms a ditch, its width exceeding the area of the diamond grain and the material collision. The article describes an attempt to treat nitride ceramics with a soft abrasive, the ceramics being much harder than the abrasive. It has been supposed that a soft abrasive wearing out does not stop removing material from the ceramic surface. It has been proved graphically and mathematically, that removing material does not stop.

Keywords: soft abrasive, nitride ceramics, removing material, ceramic surface, abrasive wear of instrument, cutting edge of an instrument, spherical microparticles, tears-out.

Постановка проблеми. Проблема обробки надтвердої кераміки полягає в тому, що інтенсивність обробки її залежить від присутності в абразивному міксі штучних алмазів. Але алмаз досить дорогий матеріал і тому необхідно зробити спробу обробити твердий матеріал м'якшим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дана проблема піднімалася В.А. Роговим, М.І. Шкарупюю [1]. Розглядалися процеси механічної обробки надтвердої кераміки, зачіпалася В.О. Лебедевим [2], який приділяв увагу математичним моделям абразивної обробки надтвердих матеріалів; Н.В. Новиковим, С.А. Клименко [3], які вивчали надтверді матеріали, їх поведінку при обробці різними абразивними матеріалами.

Мета статті – довести, що м'який абразив здатен приймати участь у обробці нитридної кераміки.

Виклад основного матеріалу. У процесі зняття стружки при алмазній обробці кераміки беруть участь окремі алмазні зерна у сукупності з феромагнітною складовою. При вивченні характеру руйнування поверхні кераміки алмазним зерном встановлено, що зерно на початку і в кінці подряпини залишає чіткий слід без явних відколів по краях сліду. Алмазне зерно, маючи достатню твердість, відразу ж при контакті з матеріалом починає зрізати стружку. Середня ж частина подряпини протягом усієї довжини має по краях значні вириви. Поява відколів при досягненні певної глибини впровадження зерна пояснюється тим, що зі збільшенням глибини різання в роботу вступають все нові кромки алмазного зерна, у зв'язку з чим зростають сили мікрорізання в зоні його контакту з матеріалом зразка і спостерігаються поряд з утворенням високодисперсної стружки великі ділянки виривів. Виникаючі при доведенні сили обумовлюють стійкість абразивного інструменту, якість обробки і дозволяють вибирати раціональні технічні параметри [1].

При обробці кераміки стан поверхневого шару в значній мірі залежить від сил різання. Знання закономірностей зміни останніх дозволяє обґрунтовано вибирати оптимальні умови обробки. За характером зміни сил різання можна судити також про фізичні явища, що протікають в зоні обробки.

Абразивне зношування обумовлене тим, що матеріал виробу діє на інструмент своїми контактними поверхнями, дряпає кераміку, діючи як мікрорізиці. У зв'язку з високою твердістю частинок кубічного нітриду бору (КНБ) абразивний знос інструменту залежить від кількості твердого абразиву. Абразивне зношування інструменту може бути пов'язано з явищем «самозношування» [2]. Джерелом частинок, що обумовлюють «самозношування», є закруглена ділянка різальної кромки інструменту, звідки частки видаляються за рахунок втомних явищ і адгезійної взаємодії з матеріалом виробу і, потрапляючи на контактні поверхні інструменту, формують їх хвилястий рельєф. Цим механізмом визначається знос.

Не дивлячись на те, що алмазний абразивний матеріал зношується завдяки специфіці обробки, вона не зупиняється, тому що магнітне поле притискає зразок до інструменту. Достатньо високий тиск в зоні різання призводить до того, що утворений порошок працює, як паста для притирання. Внаслідок цього має місце обробка більш твердого матеріалу більш м'яким, і здійснюється такий процес при обробці вібро-магнітно-абразивним методом.

Знаючи величину інтенсивності зношування абразивного матеріалу, можна зрозуміти, через який час обробка перейде в режим притирання і з м'яким матеріалом. Такий підхід до зношування гарантує сталість обробки кераміки практично будь-яким видом абразивного матеріалу. Отже, гіпотеза про неможливість обробки твердого матеріалу більш м'яким не завжди знаходить підтвердження. Потрібно відзначити ще одну річ: не можна плутати абразивний знос, що полягає в зношуванні матеріалу під дією абразиву, і знос абразивного матеріалу. Перший відбувається в результаті впливу твердого абразиву на деталь, а другий – при обробці м'яким абразивом більш твердої поверхні.

У вільному стані порошок кристалізується у сферичні мікрочастинки, що відповідає термодинамічно найбільш вигідній формі – з мінімумом площі поверхні при максимумі обсягу.

При використанні вібро-магнітно-абразивної обробки (ВіМАО) в якості основної операції при обробці надтвердої кераміки процес нагадує притирання. Притирання є обробкою поверхневих шарів деталі інструментом. В процесі притирання інструмент притискається до поверхні деталі з зусиллям 100-200 Н, що веде до зменшення шорсткості і підвищення зносостійкості.

Під час різання під впливом сил, що притискають зерно до деталі, воно входить у матеріал деталі, що оброблюється, на глибину h та знімає стружку довжиною a (рис. 1).

Площа сегменту еліпсоїду різального зерна в осевому перерізі дорівнює:

$$S_{\text{сегм}} = ab \cdot \arctg \frac{b \cdot \tg \alpha}{a} - r_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha, \quad \alpha = \arctg \frac{x_0}{y_0}. \quad (1)$$

Щодо врахування усіх факторів, які впливають на обробку, треба ввести коефіцієнт, котрий залежить від утворювання стружки k_c і дорівнює відношенню фактичної площі металу, який видаляється з урахуванням пружно-пластичних деформацій матеріалу, що оброблюється, до площі сегменту різального зерна [3]. Числове значення коефіцієнта k_c визначається по довідниках операцій абразивної обробки.

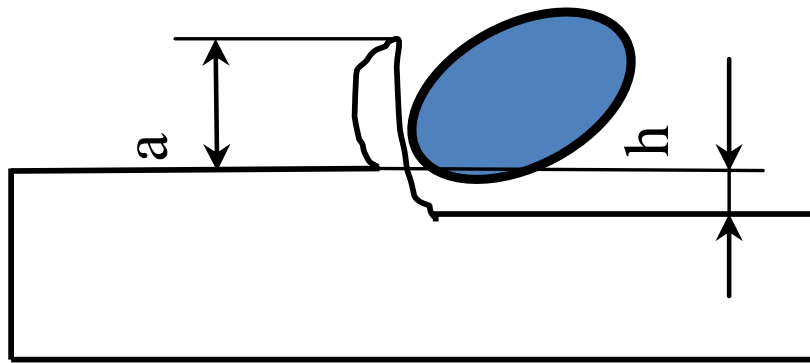


Рис. 1 – Схема роботи одного зерна при ВіМАО

Тоді об'єм матеріалу, що видаляється з поверхні заготовки одним різальним зерном, буде дорівнювати:

$$V_c = S_c a k_c = \left[ab \cdot \arctg \frac{b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{a} - r_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right] \cdot a k_c. \quad (2)$$

В одній магнітно-абразивній частці порошку в процесі різання беруть участь N різальних зерен, тому формула для знаходження об'єму матеріалу, що видаляється з поверхні заготовки розташованими в ряд різальними зернами, матиме вигляд:

$$V_p = V_c N = \left[ab \cdot \arctg \frac{b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{a} - r_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right] \cdot \frac{a k_c b N}{2k_m}. \quad (3)$$

Знаючи щільність оброблюваного матеріалу ρ , можна вичислити швидкість знімання матеріалу ΔQ , яка виражена через масу з поверхні заготовки розташованими в ряд різальними зернами:

$$\Delta Q = \Delta V_p = \left[ab \cdot \arctg \frac{b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{a} - r_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right] \cdot \frac{a k_c b N \pi n r \rho}{r}. \quad (4)$$

З часом різальні властивості зерен знижуються у зв'язку з їх руйнуванням. Тому введемо емпіричну залежність для обліку часу роботи магнітного порошку:

$$1 - e^{-C_u t}, \quad (5)$$

де C_u – коефіцієнт обліку стійкості інструменту, t – сумарний час роботи магнітного порошку.

Тоді величину знімання Q поверхні заготовки за час t з урахуванням зносу порошку можна знайти по формулі:

$$\Delta Q = \Delta V_p = \left[ab \cdot \arctg \frac{b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{a} - r_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right] \cdot \frac{a k_c b N \pi n r \rho}{r} \cdot (1 - e^{-C_u t}). \quad (6)$$

Отримані математичні залежності реалізовані за допомогою засобів Microsoft Office Excel та відображені на рис. 2.

Судячи з графіку з часом м'який абразив перетворюється на порошок, але обробка на цьому не закінчується. Знімання матеріалу стає більш розтягнутим у часі, але м'який абразив продовжує працювати.

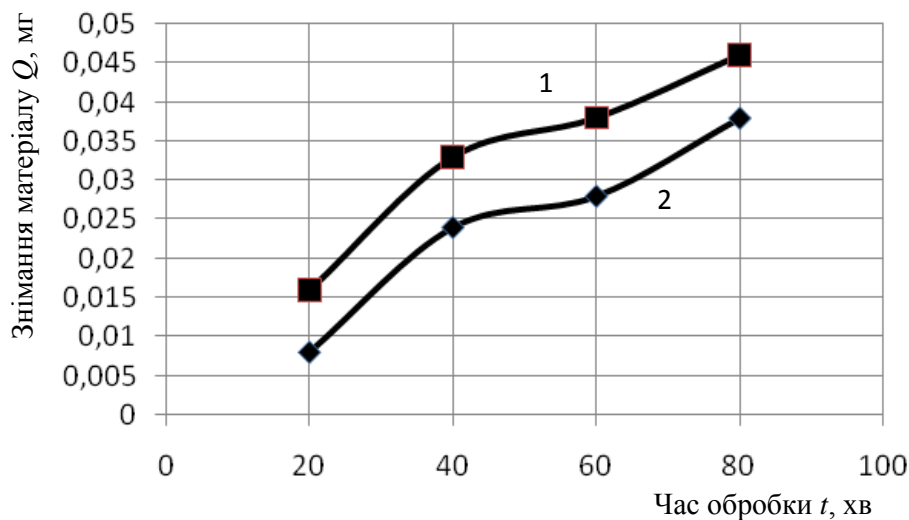


Рис. 2 – Залежність видаленого матеріалу від часу обробки: 1 – обробка з додаванням штучних алмазів (10%); 2 – обробка м'яким абразивом

Все наведене вище дає змогу рахувати, що м'який абразив може обробляти більш твердий матеріал

Висновки

1. Процес обробки надтвердої кераміки більш м'яким матеріалом можливий при ВіМАО через побільшення площі контакту абразивного матеріалу з зразком та збільшення сили притискування абразивного матеріалу до зразка, що оброблюється.

2. Отримана математична модель обробки надтвердої кераміки більш м'яким матеріалом, яка можлива при ВіМАО, що підтверджує припущення про обробку більш м'яким абразивом.

3. Використання м'якого абразивного матеріалу призводить до того ж ефекту, а саме знімання матеріалу, але за дещо більший проміжок часу.

Перелік використаних джерел:

1. Рогов В.А. Сравнительный анализ механической обработки сверхтвёрдых материалов шлифованием / В.А. Рогов, М.И. Шкарупа // Технология машиностроения. – 2009. – № 5. – С. 12-16.
2. Лебедев В.А. Модель производительности виброабразивной отделочно-зачистной обработки / В.А. Лебедев, Е.А. Дьяченко // Вопросы вибрационной технологии : Межвуз. сб. науч. ст. / ДГТУ. – Ростов на Дону. – 2004. – С. 17-20.
3. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / Под ред. Н.В. Новикова, С. А. Клименко. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.

References:

1. Rogov V.A., Shkarup M.I. Sravnitel'nyy analiz mekhanicheskoy obrabotki sverkhtrvordykh materialov shlifovaniyem [Comparative analysis of the machining of superhard materials by grinding]. *Tekhnologiya mashinostroeniya – Engineering Technology*, 2009, no. 5, pp. 12-16. (Rus.)
2. Lebedev V.A., Dyachenko E.A. Model' proizvoditel'nosti vibroabrazivnoy otdelochno-zachistnoy obrabotki [Vibroabrasive finishing-stripping performance model]. *Voprosy vibratsionnoy tekhnologii – Vibration Technology Issues*, 2004, pp. 17-20. (Rus.)
3. Ed. by Novikov N.V., Klimenko S.A. *Instrumenty iz sverkhtrvordykh materialov* [Tools made of superhard materials]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2014. 608 p. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самоутугін
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 28.10.2019