

- surface layers of machine parts]. *Vestnik SibADI – The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2017, vol. 2, pp. 42-47. doi: 10.26518/2071-7296-2017-2(54)-42-47. (Rus.)
8. Shmatov A.A. Kombinirovannoye ob'emno-poverkhnostnoye uprochneniye stal'nogo rezhushchego instrumenta [Combined volumetric surface hardening of a steel cutting tool]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Brest State Technical University*, 2008, no. 4, pp.16-21. (Rus.)
 9. Chudina O.V. Modifitsirovaniye stal'noy poverkhnosti s ispol'zovaniyem lazernogo nagreva [Modification of a steel surface using laser heating]. *Svarochnoye proizvodstvo – Welding production*, 2016, no. 3, pp. 24-28. (Rus.)
 10. Chirkov A.A. Lazerno-plazmennoye nanostrukturirovaniye poverkhnostnykh sloyev staley pri atmosferykh usloviyakh [Laser-plasma nanostructuring of surface layers of steels under atmospheric conditions]. *Fotonika – Photonics*, 2008, vol. 4, pp. 28-35. (Rus.)
 11. Golovin G.F., Zamyatin M.M. *Vysokochastotnaya termicheskaya obrabotka* [High-frequency heat treatment]. Leningrad, Maninostroyeniye Publ., 1990. 239 p. (Rus.)
 12. Dubnyakov V.N., Vorob'yeva I.G. Uprochneniye lazernym izlucheniym predvaritel'no obrabotannykh materialov [Strengthening by laser radiation of pretreated materials]. *Elektronnaya obrabotka materialov – Electronic material processing*, 1987, no. 6., pp. 64-67. (Rus.)
 13. Fudzin T., Dzako M. *Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov* [Fracture mechanics of composite material]. Moscow, Mir Publ., 1982. 232 p. (Rus.)

Рецензент: О.Г. Белік
д-р техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 22.10.2021

УДК 621.923.74

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.11

© Бурлаков В.І.*

ОБРОБКА РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН RNGN 09T300F З НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІБРОАБРАЗИВНОГО СПОСОБУ

У статті показано, що проблему з обробленням різальних пластин з надтвердої кераміки можливо вирішити за допомогою вібраційного оброблення. У статті розглянутий абразивний мікс, що приймає участь в обробленні надтвердої кераміки. Охарактеризовано вплив обсягу завантаження на знімання матеріалу. Продемонстровано найкращий показник при обробленні партії пластин. При ущільненні абразиву збільшується глибина впровадження вершини абразивної частинки в поверхню металу і відбувається перехід до мікрорізання, початок якого можна визначити за певним співвідношенням, що є позитивним фактором. Показаний ще один фактор, який викликає підвищення оброблюваності матеріалу. Це співвідношення кількості деталей і абразиву. Зроблено висновок про те, що найбільш інтенсивно обробка ведеться при співвідношенні кількості робочих тіл і пластин від 40 до 60%. Показано, що зі збільшенням зернистості зростає знімання матеріалу і формується менша шорсткість поверхні. Це свідчить про превалюючий вплив на знімання матеріалу мікро- і субмікрровиступів абразивних зерен. У процесі досліджень вібраційної обробки надтвердої кераміки було з'ясовано як впливає змочування зони різання на продуктивність. Змочування впливає на збільшення кількості вилученого матеріалу з поверхні пластини дуже повільно, тобто продуктивність ВіО повільно зростає. Показано, що в залежності від оброблюваного матеріалу та режимів обробки, характерними механізмами зносу інструментів із ПКНМ. Дана характеристика зносам. При обробці різальних пластин за допомогою вібраційної обробки вільним алмазним

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

абразивом. середня стійкість виросла в кілька разів у порівнянні з пластинами з твердого сплаву (типу ВК, ТК) і швидкорізальною сталлю. Проаналізовано наведені вище матеріали і зроблений висновок, що для інструментів із ПКНМ, незалежно до якої вони групи належать, на високих швидкостях різання найбільш часто характерна хімічна взаємодія із оброблюваним матеріалом та дифузійні процеси інтенсивність яких визначає температурою різання.

Ключові слова: різальні пластини, надтверда кераміка, вібраційне оброблення, абразивний мікс, змочування, вільний абразив, стійкість, кількість робочих тіл.

V.I. Burlakov. Processing RNGN 09T300F cutting plates from superhard ceramics by vibroabrasive method. The article shows that the problem with the finishing of cutting plates made of superhard ceramics can be solved by vibration processing. An abrasive mix involved in the processing of superhard ceramics has been considered. The influence of the loading on the material removal has been characterized. The best performance is displayed when processing a batch of plates. When the abrasive is compacted, the penetration depth of the tip of the abrasive particle into the metal surface increases and microcutting occurs, the beginning of which can be determined by a certain ratio; it being a positive factor. Another factor has been found out that increases the machinability of the material. This is the ratio of the number of plates and the abrasive. It has been concluded that processing is the most intensive with the ratio of the number of working bodies and plates being 40 to 60%. It has been shown that grain size results in material removal increase and a lower surface roughness. This is convincing evidence of the prevailing influence of micro- and submicro-protrusions of abrasive grains on material removal. In the studies of superhard ceramics vibration processing, the influence of the wetting of the cutting zone on productivity has been found out. Wetting affects the increase in the amount of material removed from the surface of the plate very slowly, i.e., vibration processing productivity is growing slowly. It has been shown that the characteristic mechanisms of wear of tools made of PSHM depend on the material being processed and the processing modes. The kinds of wear have been described. When machining cutting plates using vibration machining with free abrasive with the addition of artificial diamonds, the average tool life has increased several times in comparison with the plates made of hard alloys (such as titanium-cobalt alloy, tungsten-cobalt alloy) and of high-speed steel. The above-mentioned materials have been analyzed and it has been concluded that for the tools made of PSHM at high cutting speeds, chemical interaction with the workpiece material and diffusion processes are often inherent, the intensity of them being determined by the cutting temperature.

Key words: cutting plate, superhard ceramics, vibration processing, abrasive mix, wetting, free abrasive, stability, number of working bodies.

Постановка проблеми. У сучасному машинобудівному виробництві, де широко використовуються важкооброблювані матеріали, застосування інструментів із полікристалічних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору (ПНТМ) слід розглядати як подальший розвиток процесів механічної обробки. Інструменти із ПНТМ являються одними із найтвердіших та хімічно інертних до заліза інструментальних матеріалів та широко використовуються для обробки легованих сталей, чавунів та твердих сплавів. Завдяки своїм фізико-механічним властивостям має багато переваг, являючись альтернативою твердому сплаву, різальній кераміці, та в деяких випадках використання інструментів із ПНТМ може замінити операції шліфування.

Використовуючи інструменти із ПНТМ, можна досягти суттєвого підвищення продуктивності обробки, в порівнянні з традиційним твердосплавним та керамічним інструментом, за рахунок збільшення швидкості різання. Таким чином проблема, що розглянута у статті є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток технологій механічної обробки важкооброблюваних конструкційних матеріалів пов'язаний з підвищенням швидкості та точності обробки, що веде до створення нових різальних інструментів із використанням високоефективних інструментальних композитів із полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) на основі

кубічного нітриду бору (КНБ). Багато закордонних та вітчизняних вчених займалася такою проблемою. Наприклад, в роботах De Godoy V.A.A. [1], Chou Y. K., Evans C. J. [2, 3] показаний вплив вмісту кубічного нітриду бору на найбільшу стійкість інструменту під час безперервного точіння загартованих сталей. В роботах Slipchenko K. [4] досліджувалися характеристики різання різальних інструментів на основі КНБ із зв'язкою Cr_3C_2 при обробці нержавіючої сталі AISI 316L та високо легованої інструментальної сталі Vanadis 4E.

Мета статті – розглянути роль віброабразивного оброблення різальних пластин для покращення якості поверхні, що обробляється.

Виклад основного матеріалу. Основний вплив на якісні та експлуатаційні показники деталей надають фінішні операції. Завдання підвищення якості продукції пов'язане з удосконаленням вже відомих і розробкою нових ефективних методів фінішної обробки, серед яких провідне місце займають методи віброабразивного оброблення (ВіО). Значний інтерес фахівців до цього процесу пояснюється його широкими технологічними можливостями і суттєвими техніко-економічними перевагами. Сфера використання вібраційної технології в різних галузях виробництва досить багатогранна і має тенденцію до подальшого розширення.

Відповідно до вимог ISO у відношенні форм і розмірів різальних змінних пластин, з використанням технології механічної обробки ІНМ НАНУ із спечених заготовок виготовлені пластини RNGN 09T300F (рис. 1)

Аналізуючи попередні дослідження, робимо висновок про те, що найкращу обробну здатність пластин показав монокорунд. Застосування алмазного інструменту сприяє прискоренню темпів технічного прогресу, дозволяє впроваджувати нові прогресивні технологічні процеси, що забезпечують більш високу точність і якість обробки, збільшення терміну служби і підвищення надійності роботи машин і приладів [1].

Під дією багаторазово повторюваних мікрое впливів гранул шліфувального матеріалу, які викликають зміну геометричних і фізико-механічних параметрів поверхневого шару (шорсткості, мікротвердості, залишкових напружень, структури) не тільки оброблюваного матеріалу, а й абразивного інструменту, абразивний інструмент теж зазнає змін, так як його твердість поступається твердості оброблюваного матеріалу. Внаслідок цього при обробці всього лише однієї деталі змінання матеріалу все-таки відбувається, але стійкість інструменту буде невисока.



Рис. 1 – Круглі різальні пластини RNGN 090300T, виготовлені з КМК системи cBN-TiC (cBN(КМ 3/2) + TiC ($\leq 4,5-7$ мкм), 45 об.% після механічної обробки

Для підвищення продуктивності обробки зразків, виконаних з надтвердих матеріалів, до обробної маси слід додати штучні алмази в кількості 15% відсотків від загальної маси. Наявність їх в абразивному міксі збільшить продуктивність обробки приблизно в 2-2,5 рази.

Найбільш продуктивною є віброабразивне оброблення з використанням суспензії, що містить порошок алмазу АСМ 20/14. Це пояснюється здатністю частинок алмаза АСМ підтримувати свою ріжучу здатність за рахунок постійного мікросколювання контактних ділянок в результаті вібраційного і ударного навантаження в зоні обробки.

Використання при віброабразивному обробленні суспензій з монокорундом і порошками алмазу в різній концентрації істотно впливає на величину знімання матеріалу зі зразків ПНТМ [2].

Як видно з графіка на рис. 2, дещо інша картина може розгортатися при обробленні партії пластин. Вплив обсягу завантаження на знімання матеріалу носить екстремальний характер з максимумом при завантаженні у робочу камеру 3-4 пластини (40% від її обсягу). При завантаженні більшої партії деталей (70% пластин) інтенсивність оброблення різко знижується, так як оброблювані пластини не можуть здійснювати рух по всьому об'єму робочої камери. В разі оброблення лише однієї або двох пластин (10-20% від обсягу) наявність вільного простору також призведе до зменшення інтенсивності оброблення внаслідок нерівномірного перемішування маси завантажених пластин і абразиву і відсутності тиску абразиву на різальні пластини.

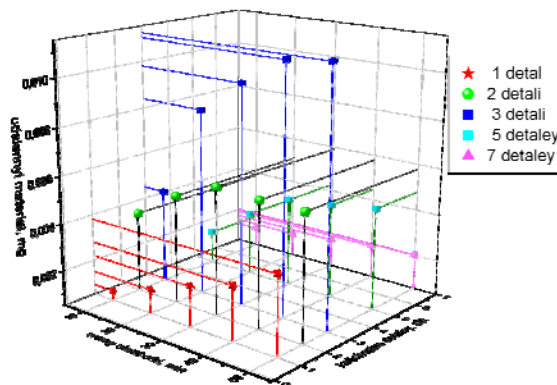


Рис. 2 – Залежність інтенсивності знімання матеріалу від кількості одночасно оброблюваних пластин від загального об'єму. Суміш порошку алмазу АСМ 28/14 в концентрації 15% і монокорунду, обробка – 40 хв.

Найкращий показник продемонструвала обробка 3-4 пластин (30-40% від всього об'єму камери) одночасно. Це пояснюється тим, що вільного простору у робочій камері більше, контактування абразиву і пластин є більш щільнішим і обробка, таким чином, проводиться більш інтенсивніше.

До того ж щільність контактування ущільненого абразивного шару з оброблюваною поверхнею при камерній обробці значно вища, ніж при обробці інструментами з пов'язаними абразивними частинками.

При відносному переміщенні абразивного зерна і оброблюваної поверхні деталі відбуваються дряпання матеріалу і зростання сил, що діють на зерно. І.В. Крагельським показано, що зі зростанням нормального навантаження РN збільшується глибина впровадження вершини абразивної частинки в поверхню металу і відбувається перехід до мікрорізання, початок якого можна визначити за співвідношенням h_d/ρ (h_d – глибина впровадження виступу абразивної частинки при відносному переміщенні, коли з'являється тангенціальна сила P_z) [3].

Так як кількість деталей є досить умовним показником, краще потрібно б було замінити кількість на об'єм (як і є в нашому випадку), який будуть займати пластини у тій чи іншій робочій камері. Також цей показник буде залежати від габаритних розмірів самої пластини. Таким чином найкращу продуктивність показали пластини ($\varnothing 4,5$ мм), що займають 35% від об'єму камери у 50 см^3 .

Ще одним важливим фактором, який викликає підвищення оброблюваності матеріалу, є співвідношення кількості пластини і абразиву (рис. 3).

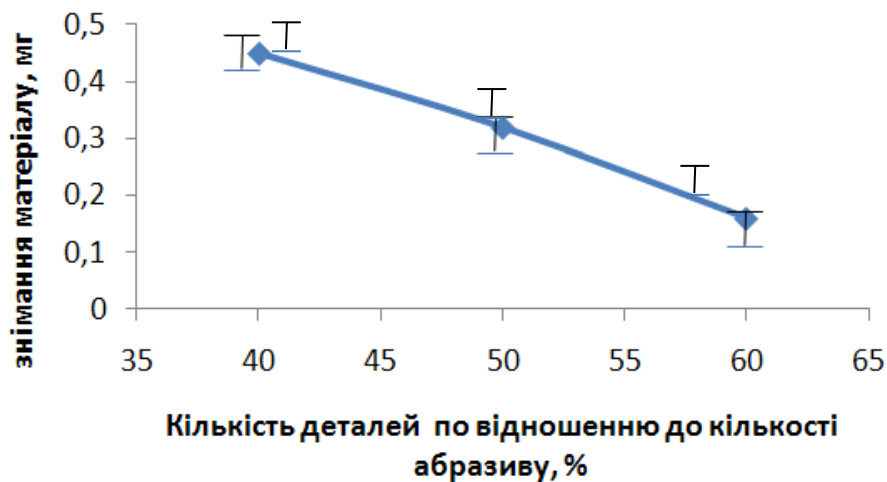


Рис. 3 – Вплив співвідношення кількості пластин і абразиву на інтенсивність обробки

Виходячи з попередніх досліджень, можна зробити висновок про те, що найбільш інтенсивно обробка ведеться при співвідношенні кількості робочих тіл і пластин від 40 до 60%. В іншому випадку, якщо абразивного матеріалу буде менше, ніж оброблюваних пластин, інтенсивність обробки різко знизиться через те, що пластини будуть співударятися, в основному, одна з одною і лише в незначній мірі з абразивним матеріалом. У разі певного перевищення кількості абразивного матеріалу над кількістю пластин показник інтенсивності обробки знизиться через зменшення кількості деталей і неможливість рівномірної обробки їх абразивом.

Добавки штучних алмазів в будь-якому випадку прискорюють обробку, але їх вплив на матеріал може бути дещо іншим. Зі збільшенням зернистості зростає знімання металу і формується менша шорсткість поверхні. Це свідчить про превалюючий вплив на знімання матеріалу мікро- і субмікрровиступів абразивних зерен.

Зі зменшенням зернистості шліфувального матеріалу інтенсивність знімання металу, при інших рівних умовах, повинна зростати. Однак експериментальними дослідженнями встановлено, що навіть при невисоких контактних тисках, що мають місце при камерній обробці, більш м'який матеріал може грати роль витираючого матеріалу, що може підвищити якість обробленої поверхні.

При доведенні в процесі знімання матеріалу бере участь численна сукупність вершин абразивних зерен, частина з яких, проходячи зону контакту, здійснює різання і знімає поодинокі стружки, що визначають продуктивність процесу доведення. У зв'язку з цим оцінку продуктивності процесу доведення здійснюють за сукупними зніманням металу ріжучими зернами в зоні контакту або за характеристиками мікрорізання одиничного зерна.

У процесі досліджень вібраційного оброблення надтвердої кераміки було з'ясовано як впливає змочування зони різання на продуктивність. Змочування проводилося антикорозійною низькокиплячою рідкою сумішшю, що швидко випаровується.

На підставі аналізу отриманих результатів був побудований графік залежності знімання матеріалу від наявності або відсутності змочування. Наявність змочування (рис. 4) впливає на продуктивність обробки.

Аналізуючи графік, можна прийти до певного висновку про те, що змочування впливає на збільшення кількості вилученого матеріалу з поверхні пластини дуже повільно, тобто продуктивність ВіО повільно зростає. Її позитивний вплив проявляється в збільшенні поверхні контакту поверхонь, що притираються, очищенні деталей і поверхні камери, зменшенні утворення пилу та охолодженні зони різання. Отже її добавка може вплинути на інтенсивність. Застосування рідини може бути обумовлено також очищенням надтвердої кераміки від відходів обробки.

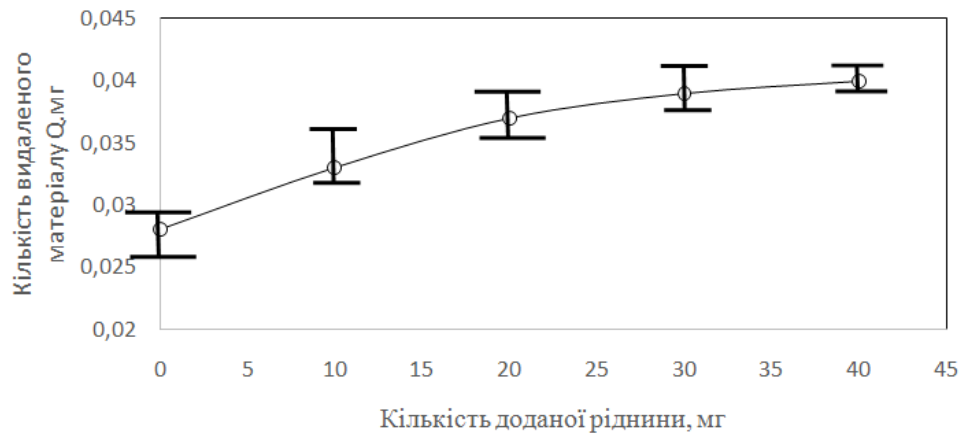


Рис. 4 – Залежність кількості видаленого матеріалу від наявності змочування

В залежності від оброблюваного матеріалу та режимів обробки, характерними механізмами зносу інструментів із ПКНБ являються: абразивний, адгезійний, дифузійний [4] та за рахунок протікання хімічних реакцій взаємодії кубічного нітриду бору із оброблюваним матеріалом. В процесі обробки виділити один механізм зносу, як превалюючий, неможливо – потрібно розглядати процес зносу як сукупність декількох видів. Проте слід відмітити, що знос інструментів з різним вмістом КНБ має свої особливості.

Знос різальних інструментів відбувається за рахунок утворення лунки по передній поверхні, утворення тріщин, зазубрин та температурного просідання різальної кромки, а також стирання інструменту по задній поверхні. Саме утворення лунки по передній поверхні та фаски зносу на задній поверхні інструменту являються критеріями стійкості інструменту та визначають подальшу працездатність різальних пластин.

Утворення лунки, в основному, викликано розчиненням інструментального матеріалу в стружці. Адгезійне зношування відбувається в результаті безперервного схоплювання інструменту зі стружкою, під дією високих тисків та температур, та руйнуванням утворених зв'язок, що супроводжується вириванням окремих зерен інструментального матеріалу.

Абразивне зношування можливе через наявність вільних абразивних часток, які діють як при мікрорізці, які дряпають контактні ділянки інструменту, а також через наявність твердих включень в оброблюваному матеріалі. Зношення інструменту по задній поверхні відбувається через тертя об оброблювану деталь.

Зразки інструментів з об'ємним вмістом КНБ 50% показали високу зносостійкість при обробці AISI 316L на швидкості різання 300 м/хв. Основним механізмом зносу є хімічна взаємодія з оброблюваним матеріалом та дифузія. При збільшенні швидкості різання до 500 м/хв знос інструментів швидко збільшувався завдяки підвищенню температури різання. Приблизно такий же ступінь зносу демонструють інструменти із об'ємним вмістом КНБ 60, 65% на обох швидкостях різання.

При точінні сталі Vanadis 4E інструменти системи 50 об. % КНБ показали найбільшу швидкість зносу. Найбільшу зносостійкість демонструють інструменти системи 60, 65 об. % КНБ.

Жодного механічного руйнування робочих поверхонь не було зафіксовано. Крім того відмічається збільшення стійкості інструментів із низьким вмістом бору за рахунок менш інтенсивної взаємодії з оброблюваним матеріалом.

Проаналізувавши наведені вище матеріали, можна зробити висновок, що для інструментів із ПКНБ, незалежно до якої вони групи належать, на високих швидкостях різання найбільш часто характерна хімічна взаємодія із оброблюваним матеріалом та дифузійні процеси, інтенсивність яких визначається температурою різання.

При обробці різальних пластин за допомогою вібраційного оброблення вільним алмазним абразивом середня стійкість виросла в кілька разів у порівнянні з пластинами з твердого сплаву (типу ВК, ТК) і швидкорізальною сталлю, що показано на рис. 5.

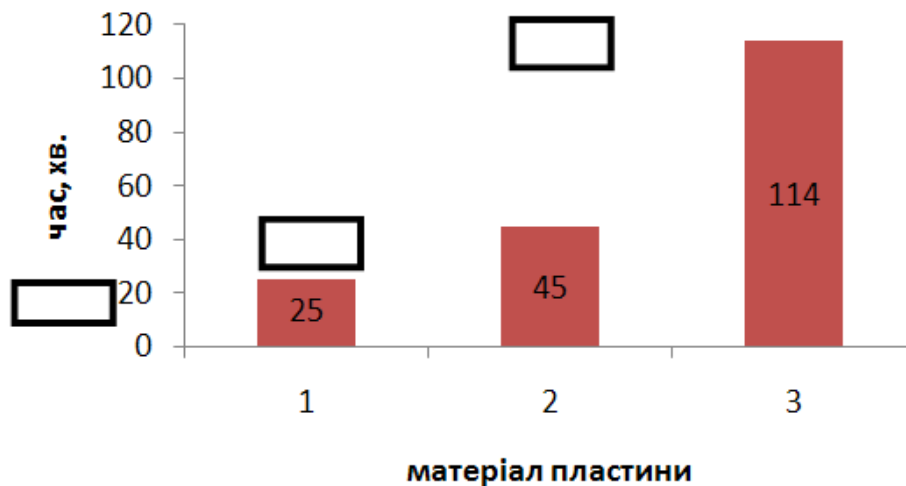


Рис. 5 – Залежність стійкості різальної пластини від виду матеріалу: 1 – швидкоріза- льний матеріал; 2 – твердосплавні пластини типу ВК, ТК; 3 – надтверді пластини з кераміки, оброблені міксом з додаванням штучних алмазів

Висновки

1. При обробці різальних пластин за допомогою вібраційного оброблення вільним міксом з додаванням алмазних зерен середня стійкість виросла в 2,5 разів у порівнянні з пластинами з твердого сплаву.
2. Найбільш інтенсивно обробка ведеться при співвідношенні кількості робочих тіл і пластин від 40 до 60%.
3. Найкращий показник продемонструвала обробка 3-4 (35-40% від загального об'єму робочої камери) пластин одночасно.
4. Для інтенсифікації виробництва до феромагнітної складової необхідно додавати штучні алмази марки АСМ 20/14 у кількості 15 відсотків від загальної маси абразиву.
5. Виявлено позитивний вплив змочування, який проявляється в збільшенні поверхні контакту поверхонь, що притираються, очищенні деталей і поверхні камери, зменшенні утворення пилу та охолодженні зони різання.
6. В зв'язку з вищезгаданим є актуальним проведення досліджень, направлених на визначення оптимальної мікрогеометрії робочих поверхонь інструментів із ПКНБ для зменшення трибологічної взаємодії з оброблюваним матеріалом та розробки методів для її досягнення.

Перелік використаних джерел:

1. De Godoy V.A.A. Turning of interrupted and continuous hardened steel surfaces using ceramic and CBN cutting tools / V.A.A. De Godoy, A.E. Diniz // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2011. – № 211(6). – Pp. 1014-1025. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.01.002>.
2. Chou Y.K. Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting / Y.K. Chou // *Wear*. – 2003. – Vol. 255. – Pp. 1388-1394. – Mode of access: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00102-9).
3. Chou Y.K. Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting / Y.K. Chou, C.J. Evans // *Wear*. – 1999. – Vol. 225-229. – Pp. 234-245.
4. Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr₃C₂ binder phase / K. Slipchenko, I. Petruscha, V. Turkevich, J. Johansson, V. Bushlya, Jan-Eric Ståhl // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 72. – Pp. 1433-1438. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.180>.

References:

1. De Godoy V.A.A., Diniz A.E. Turning of interrupted and continuous hardened steel surfaces using ceramic and CBN cutting tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 2011, № 211(6), pp. 1014-1025. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2011.01.002.
2. Chou Y.K. Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting. *Wear*, 2003, vol. 255, pp. 1388-1394. doi: 10.1016/S0043-1648(03)00102-9.
3. Chou Y.K., Evans C.J. Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting. *Wear*, 1999, vol. 225-229, pp. 234-245.
4. Slipchenko K., Petrusha I., Turkevich V., Johansson J., Bushlya V., Ståhlb Jan-Eric. Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr₃C₂ binder phase. *Procedia CIRP*, 2018, vol. 72, pp. 1433-1438. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.180.

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

Стаття надійшла 15.10.2021

UDC 629.031

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.12

© Guliyev S.S.¹

WORKING CAPACITY OF ROLLING PILLOWS AND RELIABILITY INVESTIGATION

The article is devoted to a comprehensive study of the performance and reliability of roller bearings. Based on the analysis of the longevity of the pillows and the generalization of the research results, the method of assessing the impact of key factors on the longevity of roller bearings has been clarified. A mathematical model was obtained to express the longevity of rolling pads as a function of a random argument based on a known law of distribution of conductivity. It has been confirmed that the longevity of roller bearings is distributed by the law of normal logarithmic distribution. Probability-statistical models for estimating the continuous operation of roller bearings as a result of the composition of the distribution function of the dynamic load, taking into account the typical variable loading modes and real operating conditions, have been clarified. Given the need to substantiate the adequacy of probabilistic-statistical mathematical models and to obtain more accurate results, the probability of continuous operation of roller bearings with a high level of reliability was assessed. An analytical model of pillow conductivity has been developed. The probability of uninterrupted operation of the pads was assessed, taking into account the operating modes. Probabilistic-statistical models of longevity of pillows have been clarified. The system of equations obtained as a result of analytical studies represents mathematical models of the continuous operation of roller bearings, taking into account the typical variable loading modes. In order to ensure a high level of reliability and to more accurately determine the effect of the equivalent load, the relative error of the reliability index was 0.05 and the significance level was 0.01. These conditions meet the requirements of methods for assessing the reliability of experimental data.

Key words: rolling pads, performance, reliability, longevity, operating modes, uninterrupted operation, probabilistic and statistical models.

Гулієв С.С. Дослідження працездатності та надійності роликів підшипників. Стаття присвячена комплексному дослідженню експлуатаційних характеристик і надійності роликів підшипників. На основі аналізу довговічності подушок та

¹ lector, Azerbaijan Technology University (UTECA), Ganja, Azerbaijan, nizism@mail.ru