

УДК 621.923

АНАЛІЗ ІНТЕНСИВНОСТІ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ МІТЧИКІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ

Д. В. Тарган, В. С. Майборода, Д. Ю. Джулій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» просп. Перемоги 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: maiborodavs@gmail.com

Досліджено особливості кінематики магнітно-абразивного оброблення. Розроблено метод розрахунку інтенсивності магнітно-абразивного оброблення робочих поверхонь мітчиків з кутом профілю різьби 60° за кількісними значеннями нормальної та тангенціальної складових швидкості оброблення. Результати розрахунків дають змогу прогнозувати вплив базування мітчиків в робочій зоні верстату на якість оброблення його робочих поверхонь. При розташуванні мітчиків під кутом $20-60^\circ$ до площини робочої зони верстату, робочі поверхні інструменту будуть оброблятися недостатньо ефективно. В залежності від очікуваного переважного полірувального чи зміцнювального ефекту магнітно-абразивного оброблення, мітчики потрібно розташовувати під кутом $60-90^\circ$ до площини робочої зони верстату.

Ключові слова: мітчик, магнітно-абразивне оброблення, «тіньові» зони, «перекривання», інтенсивність.

АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТЧИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

Д. В. Тарган, В. С. Майборода, Д. Ю. Джулий

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

просп. Победы 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: maiborodavs@gmail.com

Исследованы особенности кинематики магнитно-абразивной обработки. Разработан метод расчета интенсивности магнитно-абразивной обработки рабочих поверхностей метчиков с углом профиля резьбы 60° по количественным значениям нормальной и тангенциальной составляющих скорости обработки. Результаты расчетов позволяют прогнозировать влияние базирования метчиков в рабочей зоне станка на качество обработки его рабочих поверхностей. При расположении метчиков под углом $20-60^\circ$ к плоскости рабочей зоны станка, работающие поверхности инструмента будут обрабатываться недостаточно эффективно. В зависимости от ожидаемого преимущественного полировального или упрочняющего эффекта магнитно-абразивной обработки, метчики нужно располагать под углом $60-90^\circ$ к плоскости рабочей зоны станка.

Ключевые слова: метчик, магнитно-абразивная обработка, «теневые» зоны, «перекрывание», интенсивность обработки.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Нарізування різьби мітчиками є простим, широко відомим і високоефективним методом металообробки. Даний метод пропонує продуктивне і економічне нарізування різьби, особливо невеликого діаметру, завдяки порівняно низькому часу простою обладнання, високій швидкості різання і відносно тривалому періоду стійкості інструменту. Мітчиками можна отримати більшість профілів різьби на верстатах різних типів. Але при застосуванні мітчиків виникають такі проблеми як забивання канавок стружкою, руйнування інструменту в результаті його заклинювання через великі сили тертя, що призводить до браку деталей, простою обладнання та фінансових втрат. Однією з перспективних фінішних технологічних операцій при виготовленні мітчиків підвищеної якості є магнітно-абразивне оброблення (МАО).

Дослідження впливу процесу МАО на показники якості різального інструменту (РІ), в особливості на стан їх мікрогеометрії показали, що застосування методу МАО є доцільним на заключних етапах технологічного процесу його виготовлення [1]. Цей метод дозволяє комплексно впливати на стан поверхневого шару, контрольовано змінювати його фізико-механічні властивості та мікрогеометрію як робочих поверхонь РІ, так і різальних кромки (РК).

Дослідження процесу МАО мітчиків та його вплив на показники якості та працездатності інструменту представлено в роботах [2–8]. Було

показано, що при однаковому часі оброблення, процес МАО мітчиків в кільцевій зоні під кутом базування до робочої площини $p = 25^\circ$ [6] призводить до зменшення шорсткості на задній циліндричній поверхні в середньому в 2-3 рази, збільшення радіусів округлення на 3-4 одиниці. При обробленні під кутом $p = 45^\circ$ [7] - шорсткість на задній циліндричній поверхні зменшилась на 30-35%, радіуси округлення збільшились на 10-15 одиниць. При обробленні під кутом $p = 90^\circ$ [8] - шорсткість на задній циліндричній поверхні, як і у першому випадку, зменшилась в 2-3 рази, радіуси округлення майже не змінились. Це свідчить про те, що саме особливості базування мітчиків в робочій зоні кільцевого типу в процесі оброблення суттєво впливають на показники якості інструменту. Інформація про дослідження впливу кінематичних параметрів процесу МАО на інтенсивність та якість оброблення складних поверхонь мітчиків відсутня. В роботі [9] наведено методіку і окремі результати розрахунків по визначенню кінематичних параметрів МАО комплексів поверхонь. Удосконалення наведеної методіки розрахунку, яка спрямована на визначення інтенсивності оброблення робочих поверхонь інструменту в залежності від кінематичних параметрів процесу, в особливості від кута його розташування до площини робочої зони верстату, дозволить виконувати прогнозування і оптимізацію методу МАО мітчиків.

Метою роботи є дослідження кінематики процесу MAO мітчиків в робочій зоні кільцевого типу, визначення інтегральної інтенсивності та умов ефективного оброблення робочих поверхонь та РК.

МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Дослідження та розрахунки проводили для мітчиків, що нарізають метричну різьбу. Дослідження процесу MAO мітчиків виконували на установці типу кільцева ванна, що наведена в [10]. Схема умов базування мітчиків для наведеної установки представлена на рис. 1, де p – кут нахилу оправки, який вимірюється в дотичній площині до кільцевої ванни, q – кут повороту оправки відносно дотичної до кільцевої ванни. Розрахунки виконували в середовищі MathCAD.

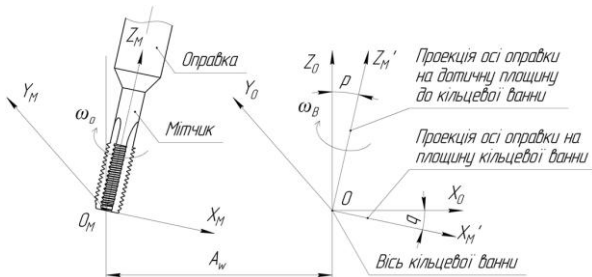


Рисунок 1 – Розрахункова схема MAO мітчиків на установці типу кільцева ванна

Для дослідження процесу MAO в кожній окремій точці робочої поверхні мітчика в заданий момент часу вводимо такі системи координат (рис. 1):

– система координат $X_O Y_O Z_O$ пов'язана з кільцевою ванною, і обертається зі швидкістю ω_B навколо осі Z_O ;

– система координат $X_M Y_M Z_M$ зв'язана з оправкою. Вісь Z_M є віссю обертання оправки. Дана система координат повернута навколо осі Y_O на кут p , а потім навколо вертикальної осі на кут q , що дозволяє нахилити оброблювану деталь на довільний кут відносно робочої зони. Крім того, дана система координат зміщена відносно початку координат системи $X_O Y_O Z_O$ на величину A_w ;

– система координат $X_M' Y_M' Z_M'$ зв'язана з оброблюваним мітчиком і обертається зі швидкістю ω_M навколо осі Z_M .

Координати точки на поверхні мітчика P та напрямок вектора нормалі до поверхні N в даній точці задаємо як:

$$P = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$N = \begin{pmatrix} Nx \\ Ny \\ Nz \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Координати заданої точки P_O та напрямок вектора нормалі N_O в системі координат оправки при повороті мітчика навколо власної осі визначаємо як:

$$M(\varepsilon) = \begin{pmatrix} \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon & 0 \\ \sin \varepsilon & \cos \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$P_O = M(\varepsilon) \cdot P, \quad (4)$$

$$N_O = M(\varepsilon) \cdot N, \quad (5)$$

де ε – кут повороту мітчика навколо власної осі;

$M(\varepsilon)$ – матриця повороту на кут ε .

Координати заданої точки P_B та напрямок вектора нормалі N_B в системі координат кільцевої ванни при нахилі оправки на кут p та повороті на кут q можна визначити як:

$$M(p) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos p & -\sin p \\ 0 & \sin p & \cos p \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$M(q) = \begin{pmatrix} \cos q & -\sin q & 0 \\ \sin q & \cos q & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$P_B = M(p) \cdot M(q) \cdot P_O + A_w, \quad (8)$$

$$N_B = M(p) \cdot M(q) \cdot N_O, \quad (9)$$

де $M(p)$ – матриця повороту вектора на кут p ;

$M(q)$ – матриця повороту вектора на кут q ;

A_w – радіус кільцевої ванни.

Лінійна швидкість руху точки навколо осі кільцевої ванни V_B визначається як:

$$R_B = \begin{bmatrix} (P_B)_0 \\ (P_B)_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$V_B = \omega_B \cdot R_B, \quad (11)$$

де R_B – відстань від заданої точки на робочій поверхні мітчика до осі Z_O кільцевої ванни.

Лінійна швидкість руху точки навколо осі оправки V_O :

$$R_O = \begin{bmatrix} (P_O)_0 \\ (P_O)_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$V_O = M(p) \cdot M(q) \cdot (\omega_M \cdot R_O), \quad (13)$$

де R_O – відстань від точки до осі Z_M оправки.

Абсолютна швидкість руху точки V :

$$V = V_B + V_O. \quad (14)$$

Кут β між вектором швидкості та вектором нормалі до поверхні в конкретній точці робочої поверхні визначаємо як:

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{V \cdot N_B}{|V| \cdot |N_B|} \right). \quad (15)$$

Тоді величини нормальної V_n та тангенціальної V_t складових вектора швидкості відносно оброблюваної поверхні мітчика:

$$V_n = |V| \cdot \cos \beta, \quad (16)$$

$$V_t = |V| \cdot \sin \beta. \quad (17)$$

Залежно від того, як направлені вектор швидкості та вектор нормалі відносно оброблюваної поверхні, можливий різний характер її взаємодії з магнітно-абразивним інструментом (МАІ) і, відповідно, в певний момент часу у визначеній точці може відбуватися переважно процес полірування або процес зміцнення поверхневого шару або поверхня може взагалі не оброблятися – буде розташовуватись в «тіньовій» зоні. Це відбувається за умови, коли кут між вектором нормалі до поверхні, в якій лежить ця точка, та між вектором швидкості більший за 90° .

Зазначимо, що при МАО мітчиків, і в особливості калібрувальних зубців виникає ефект «перекривання» зони оброблення зубом, що знаходиться попереду (рис. 2).

В такій зоні відсутні активні нормальні та тангенціальні складові швидкості оброблення, відсутня дія МАІ на оброблювану поверхню. Для встановлення кількісної оцінки активних нормальної і тангенціальної складових швидкості оброблення робочих поверхонь мітчика необхідно визначити кути повороту інструменту навколо власної осі, при яких починається і закінчується «перекривання» оброблюваних точок поверхні.

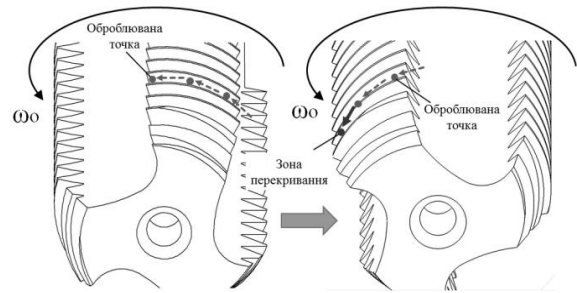


Рисунок 2 – Схема перекривання оброблюваної точки зубцем мітчика, що знаходиться попереду

Для визначення кута початку «перекривання» φ було графічно змодельовано формування зони «перекривання» при МАО (рис. 3).

На рисунку R – радіус зубця робочої частини мітчика, який перекриває в процесі оброблення наступний зубець, r – радіус на поверхні зубця, що перекривається, на якому знаходиться досліджувана точка поверхні, a – відстань від вершини зубця, що перекриває до площини, перпендикулярної осі мітчика, на якій заходить досліджувана точка.

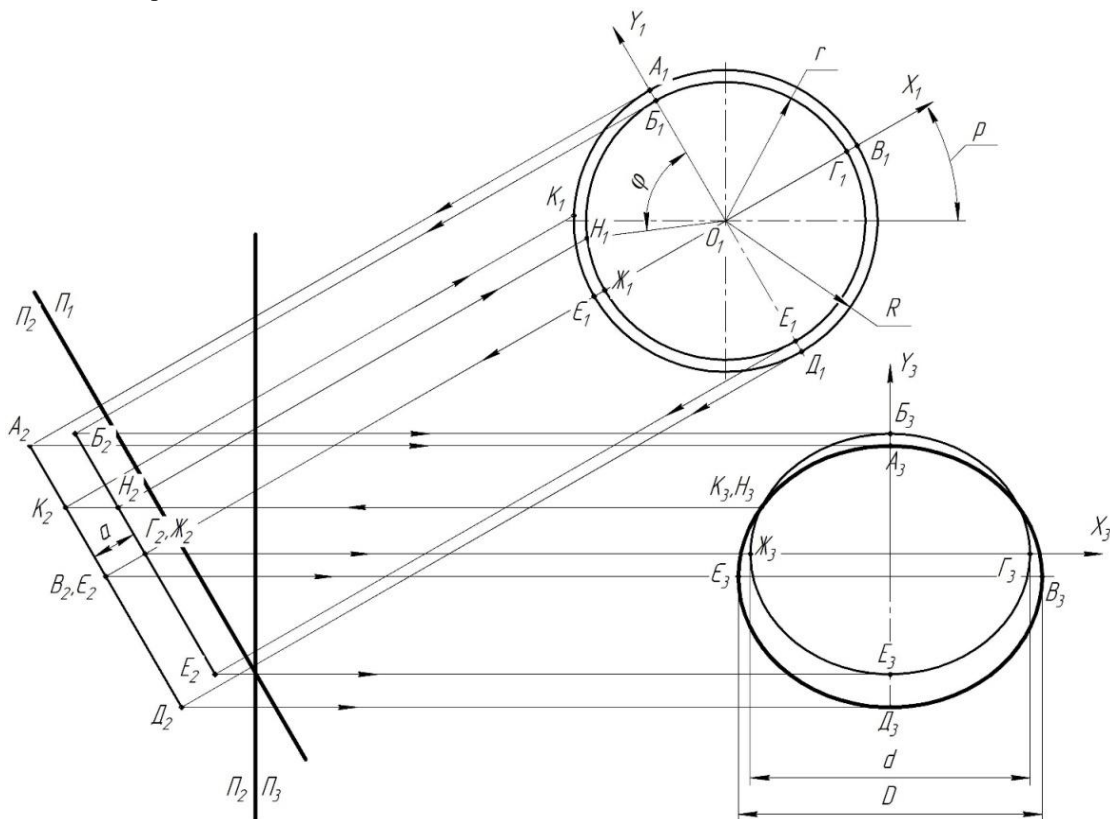


Рисунок 3 – Графічне моделювання зони «перекривання» зубця мітчика

При обробленні під кутом ρ до площини робочої зони, «перекривання» досліджуваної точки починається у точці H_3 і закінчується у точці, симетричній H_3 відносно осі B_3D_3 .

Для визначення координат точки початку «перекривання» H_3 в системі координат X_3Y_3 необхідно знайти точку перетину двох еліпсів. Для цього використано рівняння цих еліпсів:

$$\frac{X_3^2}{R^2} + \frac{(Y_3 + a \cdot \sin p)^2}{(R \cdot \cos p)^2} = 1, \quad (18)$$

$$\frac{X_3^2}{r^2} + \frac{Y_3^2}{(r \cdot \cos p)^2} = 1. \quad (19)$$

Вирішуючи систему рівнянь з (18) і (19), отримуємо координати точки початку «перекривання» в системі координат X_3Y_3 і знаходимо координати точки початку «перекривання» H_1 в системі координат X_1Y_1 :

$$X_1 = X_3, \quad (20)$$

$$Y_1 = \frac{Y_3}{\cos p}. \quad (21)$$

Щоб знайти кут φ повороту мітчика до початку перекривання, знаходимо кут між віссю $\overline{O_1Y_1}$ та вектором $\overline{O_1H_1}$:

$$\cos \varphi = \frac{\overline{O_1Y_1} \cdot \overline{O_1H_1}}{|\overline{O_1Y_1}| \cdot |\overline{O_1H_1}|}, \quad (22)$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{\overline{O_1Y_1} \cdot \overline{O_1H_1}}{|\overline{O_1Y_1}| \cdot |\overline{O_1H_1}|} \right). \quad (23)$$

При MAO з розташуванням мітчиків під деяким кутом до площини робочої зони, перекривання оброблюваної точки зубця починається при повороті мітчика навколо власної осі на визначений кут φ та закінчується при досягненні кута повороту $(360 - \varphi)$.

Зазначимо, що при визначенні зони «перекривання» необхідно врахувати випадки, коли система рівнянь (18, 19) не має рішення, тобто, коли оброблювана точка завжди знаходиться в зоні перекривання або ніколи туди не попаде.

Таким чином, врахувавши «тіньову» зону та зону «перекривання», можна визначити активні складові векторів нормальної та тангенціальної складової швидкості оброблення по задній поверхні мітчиків. А для визначення характеру взаємодії MAI з оброблюваними елементами необхідно визначити інтегральну інтенсивність оброблення за кінетичними параметрами. Інтегральні інтенсивності оброблення IV_n та IV_τ характеризують енергетичний аспект взаємодії зерен та груп зерен MAI з оброблюваними поверхнями за активними нормальною та тангенціально складовими швидкості оброблення. Вони визначаються, як сума швидкостей за певною складовою швидкості взаємодії MAI для певної точки оброблюваної поверхні за повний оберт мітчика навколо власної осі:

$$IV_n = \int_0^{2\pi} V_n(\varepsilon) \cdot akt\beta(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (24)$$

$$IV_\tau = \int_0^{2\pi} V_\tau(\varepsilon) \cdot akt\beta(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (25)$$

де $akt\beta(\varepsilon)$ – активна складова відповідного вектора швидкості оброблення при повороті мітчика навколо власної осі на кут ε .

Розрахувавши інтегральну інтенсивність оброблення за складовими швидкості, можна прогнозувати переважаючий характер оброблення. Тому, для забезпечення ефективного оброблення необхідно керувати співвідношенням тангенціальних та нормальних складових швидкостей взаємодії MAI з робочими поверхнями мітчиків, які залежать від параметрів базування інструменту на верстатах з кільцевим розташуванням робочих зон.

Було розраховано інтегральні інтенсивності оброблення на задній поверхні мітчиків M10 при різних величинах кута p . Точки, в яких визначали інтегральні інтенсивності складових швидкості оброблення на задній поверхні представлено на рис. 4. Координати точок на поверхні брали із 3D-моделі мітчика, створеної відповідно до ГОСТ 3266-81.

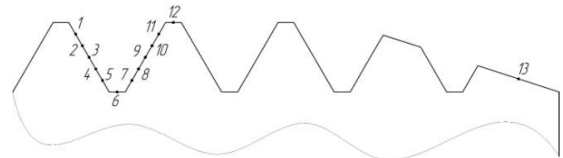


Рисунок 4 – Розташування точок на робочій поверхні мітчика, для яких проводили розрахунки

Точки 1-5 та 7-11 розташовані на боковій стороні зубця, точки 6 та 12 на внутрішньому та зовнішньому діаметрі мітчика відповідно. Точка 13 знаходиться на забірному конусі, тому вважаємо, що зона «перекривання» для даної точки відсутня.

Результати розрахунків інтегральної інтенсивності складових швидкості оброблення за запропонованим вище методом по задній поверхні робочої частини мітчиків в режимі обертання за годинниковою стрілкою при різних кутах базування інструменту до площини робочої зони представлено у вигляді гістограм на рис. 5.

Показано, що активне оброблення всіх поверхонь робочої частини мітчика відбувається при куті нахилу інструмента до площини робочої зони $p = 60-90^\circ$. Тобто, MAO мітчиків при $p = 20-60^\circ$ є недостатньо ефективним, тому що частина поверхонь знаходиться в зоні «перекривання» де відсутній активний процес взаємодії з MAI.

Для діапазону кута нахилу $p = 60-90^\circ$ було проведено додаткові розрахунки інтегральної інтенсивності за повний цикл оброблення – як в режимі обертання мітчика за годинниковою стрілкою, так і в зворотному напрямку. Результати розрахунків представлено на рис.6.

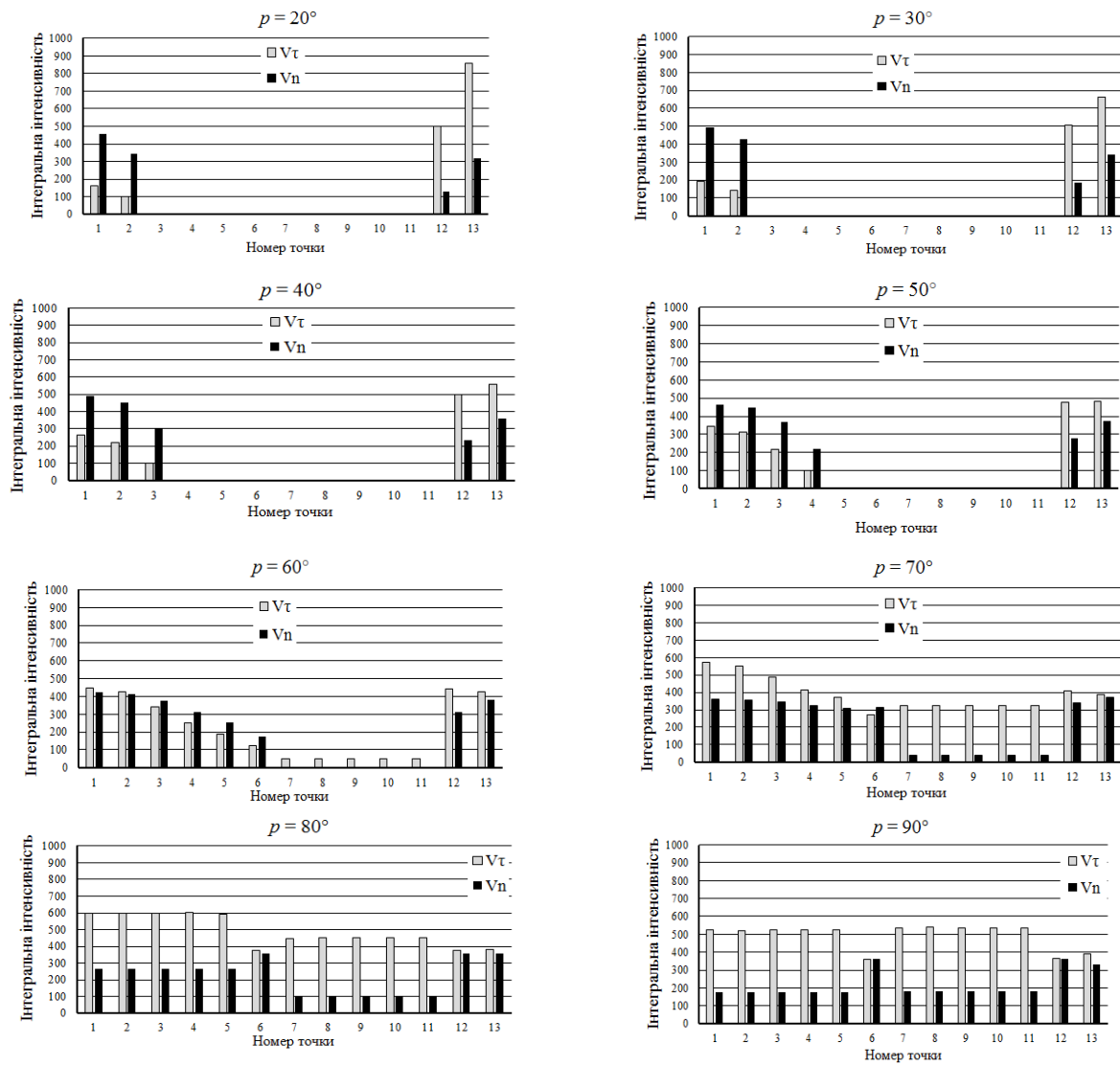


Рисунок 5 – Інтегральна інтенсивність складових швидкості оброблення на задній поверхні при $p = 20-90^\circ$

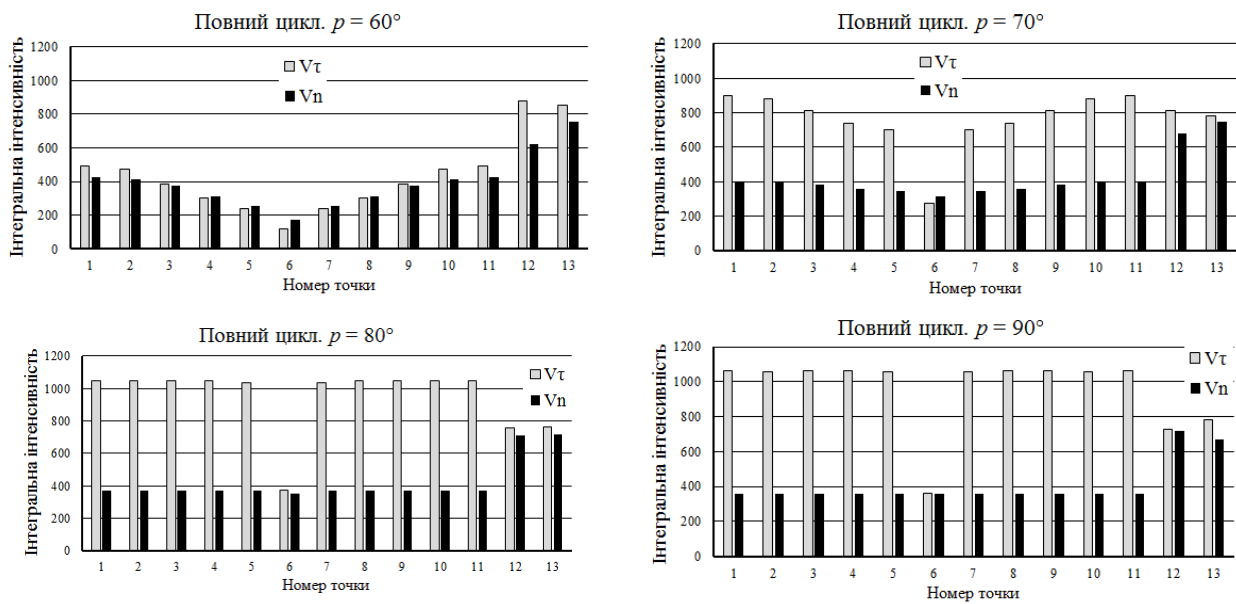


Рисунок 6 – Інтегральна інтенсивність складових швидкості оброблення на задній поверхні за повний цикл при $p = 60-90^\circ$

В табл. 1 приведені значення відношень інтегральних інтенсивностей оброблення $V\tau$ до Vn у різних точках різальної кромки мітчика в залежності від кута p .

Таблиця 1 – Відношення інтегральних інтенсивностей оброблення

p	Середні значення $V\tau/IVn$		
	№ точки		
	1-5; 7-11	12	13
60°	1,02	1,41	1,13
70°	2,02	1,20	1,04
80°	2,67	1,07	1,07
90°	2,77	1,01	1,18

Встановлено, що при $p = 60^\circ$ спостерігається однакова полірувальна та зміцнювальна дія МАІ на бічні поверхні зубців, а зі збільшенням кута p переважно є полірувальна. На циліндричній поверхні зубців полірувальна дія МАІ зменшується та вирівнюється із зміцнювальною по мірі збільшення кута p . На забірній частині переважна полірувальна взаємодія МАІ з поверхнею спостерігається при $p = 60^\circ$ та $p = 90^\circ$.

ВИСНОВКИ. Було розроблено метод розрахунку кількісної оцінки дій МАІ на робочі поверхні мітчиків під час магнітно-абразивного оброблення. Визначено кінематику та особливості процесу МАО мітчиків. Результати розрахунків дозволяють прогнозувати вплив базування мітчиків в робочій зоні верстату на якість оброблення його робочих поверхонь. Показано, що при розташуванні мітчиків під кутом $p = 20-60^\circ$ до площини робочої зони не всі поверхні будуть ефективно взаємодіяти з МАІ. Ефективне МАО мітчиків доцільно виконувати за умов їх розташування під кутом $60-90^\circ$ до площини робочої зони. Для отримання переважного полірувального ефекту, кут нахилу мітчиків повинен складати $80-90^\circ$, а зміцнювального – $60-70^\circ$. Результати розрахунків і прогнозування потребують експериментального підтвердження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Магнитно-абразивная обработка концевой режущего инструмента. / Л.Г. Дюбнер, А.А. Ивановский. – Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический

институт». Машиностроение. – Вып. 44. – 2003. – С. 107–108.

2. Influence of the cutting edge rounding on the chip formation process: Part 1. Investigation of material flow, process forces, and cutting temperature. / B. Denkena, J. Kähler, Mesfin Sisay Mengesha // Prod. Eng. Res. Devel., 2012.– № 6. – P. 329–338.

3. Schneidkantenpräparation Ziele, Verfahren und Messmethoden. Berichte aus Industrie und Forschung / F. Tikal, R. Bienemann, L. Heckmann // Kassel University Press GmbH. – Kassel, 2009. – P. 193.

4. Магнитно-абразивная обработка метчиков / В.А. Хоменко, А.М. Иконников, А.В. Богданов// Ползуновский вестник – 2012. – № 1/1.– С. 318–320.

5. Keksin A.I., Maksarov V.V. Methods of increasing the quality of the thread pitches // Agronomy Research. – 2013. – Vol. 11. – № 1. – pp. 139–146.

6. Вплив магнітно-абразивного оброблення на якість мітчиків із швидкорізальної сталі / Д.В. Тарган, І.В. Ткачук, Д.Ю. Джулій // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2013. – №772. – С. 202–207.

7. Тарган Д.В., Майборода В.С. Вплив магнітно-абразивного оброблення на мікрогеометрію та експлуатаційні показники мітчиків зі швидкорізальної сталі // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Житомир: ЖДТУ, 2015. – Вип. 15.– С. 59–65.

8. Магнітно-абразивне оброблення мітчиків із швидкорізальної сталі на верстаті з кільцевим розташуванням робочої зони / Д.В. Тарган, В.С. Майборода, О.Б. Мусіюк. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ. – Вип. № 40, 2017. – С. 121–130.

9. Heichuk, V.M. (2011) Matematychna model kinematyky protsesu mahnitno-abrazyvnoi obrobky kompleksiv poverkhon [Mathematical model of kinematics of process magneto-abrasive machining of complexes of surfaces] *Protsesy mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni*, vol. 10, pp. 99–114.

10. Magneto-Abrasive Machining for the Mechanical Preparation of High-Speed Steel Twist Drills / B. Karpuschewski, O. Byelyayev, V.S. Maiboroda // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2009. – № 58. – P. 295–298.

ANALYSIS OF INTENSITIVITY OF MAGNETO-ABRASIVE MACHINING OF TAPS DEPENDING ON THE PROCESS KINEMATIC PARAMETERS

D. Tarhan, V. Maiboroda, D. Dzhulii

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" prosp. Peremogy 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: maiborodavs@gmail.com

Purpose. To research the kinematics of process of taps magneto-abrasive machining in the ring type working zone, determination of integrated intensity and conditions effective machining of working surfaces and the cutting edges of the tool. **Methodology.** The method has been developed for calculation the quantitative effect of a magneto-abrasive tool on the machined surfaces of taps with a profile angle 60° at magneto-abrasive machining. For comparison, calculations have been made for different angles of inclination of taps to the plane of the working zone of the machine. At calculation of the machining intensity "shadow" zones and "overlap" zones have been taken into account, where process occurs ineffective. Calculations have been performed in the MathCAD environment. **Results.** Mathematical model of calculation of intensity of magneto-abrasive machining of surfaces of taps with a profile angle 60° has been made. It has been shown that at the location of taps at the angle $20-60^\circ$ to the plane of the working zone of the machine not all surfaces will effectively interact with the magneto-abrasive tool. Depending on the expected polishing or strengthening

effect at magneto-abrasive machining, taps should be located at angle 60-90° to the plane of a working zone. **Originality.** For the first time, the insensitivity of magneto-abrasive machining of complex surfaces of tap has been calculated and a quantitative evaluation of the effect of a magneto-abrasive tool on the surface has been made taking into account "shadow" and "overlappings" zones. The obtained results of calculations should be confirmed by experimental studies. **Practical value.** Results of calculations allow to predict influence of basing of taps in a working zone of the machine at magneto-abrasive machining on the quality of machining of working surfaces of the tool and to formulate conditions of its high-quality processing.

Key words: tap, magneto-abrasive machining, tools, "shadow" zones, "overlapping", machining insensitivity.

REFERENCES

1. Dyubner, L.G., Ivanovskyi, O.A. (2003), Magnitno-abrazivnaya obrabotka kontseвого rezhushchego instrumenta [Magneto-abrasive machining of the end cutting tool]. *Journal of mechanical engineering*, vol. 44, pp. 106–108.
2. Denkena, B. (2012), Influence of the cutting edge rounding on the chip formation process: Part 1. Investigation of material flow, process forces, and cutting temperature, *Prod. Eng. Res. Devel.*– № 6. – pp. 329–338.
3. Tikal, F. (2009), Schneidkantenpräparation Ziele, Verfahren und Messmethoden. *Berichte aus Industrie und Forschung*, Kassel University Press GmbH. Kassel, P. 193.
4. Khomenko, V.A., Ikonnikov, A.M. Bogdanov, A.V. (2012), Magnitno-abrazivnaya obrabotka metchikov [Magneto-abrasive machining of taps]. *Polzunovskiy vestnik*, vol. 1/1, pp. 318-320.
5. Keksin, A.I. (2013), Methods of increasing the quality of the thread pitches, *Agronomy Research*, Vol. 11, №1, pp. 139-146.
6. Tarhan, D.V., Tkachuk, I.V., Dzhulii, D.Y. (2013) Vplyv mahnitno-abrazivnoho obroblennia na yakist mitchyviv iz shvydkorizalnoi stali [Effect of magneto-abrasive machining on the quality of taps from high-speed steel]. *Series of Production Processes Optimization and Technical Control in Engineering and Instrumentation*, vol. 772, pp. 202-207.
7. Tarhan, D.V., Maiboroda, V.S. (2015) Vplyv mahnitno-abrazivnoho obroblennia na mikroheometriiu ta ekspluatatsiini pokaznyky mitchyviv iz shvydkorizalnoi stali [Effect of magneto-abrasive machining on microgeometry and performance of taps from high-speed steel]. *Protsesy mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni*, vol. 15, pp. 59-65.
8. Tarhan, D.V., Maiboroda, V.S., Musiyuk, O.B. (2017) "Magneto-abrasive machining of cutting taps from high-speed steel on the machine with ring position of the working zone". *Reliability of the tool and optimization of technological systems. Collection of science papers*, vol. 40, pp. 121-130.
9. Heichuk, V.M. (2011) Matematychna model kinematyky protsesu mahnitno-abrazivnoi obrobky kompleksiv poverkhon [Mathematical model of kinematics of process magneto-abrasive machining of complexes of surfaces] *Protsesy mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni*, vol. 10, pp. 99-114.
10. Karpuschewski, B. (2009), Magneto-Abrasive Machining for the Mechanical Preparation of High-Speed Steel Twist Drills, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, № 58, p. 295 – 298.

Стаття надійшла 13.11.2017.