

**ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ТА КРУТНИХ МОМЕНТІВ
ПРИ НАРІЗАННІ РІЗЬБИ МІТЧИКАМИ**

Основними видами поломок мітчиків є руйнування різальних кромок під дією сил різання та руйнування тіла мітчика під впливом крутного моменту різьбонарізання. Для визначення силових характеристик процесу різьбонарізання розглянуті питомі сили стружкоутворення, сили різання на різальній та калібрувальній частинах мітчиків, крутний момент різьбонарізання з урахуванням кінематичних геометричних параметрів інструмента. Отримано залежності для визначення сил різання та крутних моментів різьбонарізання при обробленні мітчиками. Наведено залежності враховують кінематику процесу різьбонарізання та зміну геометричних параметрів мітчиків вздовж різальних кромок в процесі оброблення, що дозволяє оцінити силове навантаження та спрогнозувати можливі поломки.

Ключові слова: різьбонарізання; мітчик; сила різання; крутний момент; кінематична система координат.

Вступ. Постановка проблеми. Мітчики є одним з найбільш складних та найменш надійних інструментів. Оброблення майже всіх видів поверхонь можливе багатьма способами; так одержання зовнішніх різьб можливе нарізанням різцями, гребінками, різьбонарізними головками, накатуванням плоскими або круглими плашками. Поступово ці способи отримання різьб витісняються більш прогресивними. В той же час, оброблення внутрішніх різьбових отворів (виключаючи отвори великого типорозміру), в основному, як виконувались, так і виконуються мітчиками.

До основних проблем різьбонарізання мітчиками належать викришування різальних кромок на різальній частині мітчика під дією сил різання та поломки мітчиків (особливо, малих типорозмірів) через перевищення крутного моменту різьбонарізання над допустимим. Таким чином, визначення сил різання та крутних моментів різьбонарізання є актуальним завданням для прогнозування можливих поломок та вдосконалень конструкцій мітчиків.

Аналіз останніх досліджень. Складність процесів, що відбуваються в зоні стружкоутворення, та велика кількість факторів, які впливають на процес оброблення різанням і які неможливо повністю врахувати при теоретичних розрахунках, обумовлюють велику кількість наявних підходів при визначенні сил різання. Розрахункові моделі різних авторів дають результати, що значно відрізняються один від одного. Повнотою та комплексним підходом до викладення питання теоретичного визначення сил різання характеризуються роботи С.О. Васіна, О.С. Верещаки, В.С. Кушнера, Ю.О. Розенберга [1, 2, 7, 8, 9].

З точки зору практичного використання та новизни викладення теоретичних положень, можна виділити методику визначення сил різання, запропоновану С.А. Васіним та А.С. Верещакою [1]. На основі положень даної методики отримано теоретичні залежності визначення сил різання для деяких основних видів механічного оброблення, які можуть бути трансформовані для визначення сил різання при нарізанні різьби мітчиками, з урахуванням зміни їх геометричних параметрів в процесі оброблення. Оскільки мітчики належать до інструментів, подача яких визначається конструкцією і що працюють при відносно малих швидкостях головного руху та значних подачах, які дорівнюють кроку різьби, доцільним є використання геометричних параметрів мітчиків в кінематичній системі координат, що більш точно відображає зміну геометричних параметрів в процесі оброблення, при визначенні сил різання та крутних моментів різьбонарізання.

Мета роботи. Розробити теоретичні залежності визначення сил різання та крутних моментів різьбонарізання в кінематичній системі координат, що дозволяє оцінити силовий вплив на будь-які точки різальних кромок мітчиків в процесі різьбонарізання мітчиками.

Сили різання при нарізанні різьби мітчиками. За кількістю, формою та розташуванням різальних кромок точіння може являти собою один з 4 різновидів лезового оброблення: вільне прямокутне, обмежене прямокутне, вільне косокутне та обмежене косокутне. Кожна з перерахованих схем має свої особливості, що визначають положення площини стружкоутворення щодо системи технологічних координат x , y , z . Проте особливості конструкції мітчика зумовлюють наявність комплексу різновидів лезового оброблення одночасно, тому виникає необхідність в дослідженні сил різання, що діють окремо на різальній та калібрувальній частинах, а загальна сила різання може бути визначена як їх сума, завдяки послідовно-паралельній дії в процесі оброблення.

Введемо систему координат v , μ , ξ , пов'язану з площиною стружкоутворення. Вісь v збігається з проекцією вектора швидкості сходження стружки на основну площину, для обмеженого точіння її

положення буде визначатися положенням медіани суми кутів нахилу усіх різальних кромки, що здійснюють процес різання. Вісь ξ спрямована вздовж швидкості головного руху різання, тобто перпендикулярна основній площині. Вісь μ перпендикулярна осям ν , ξ (рис. 1).

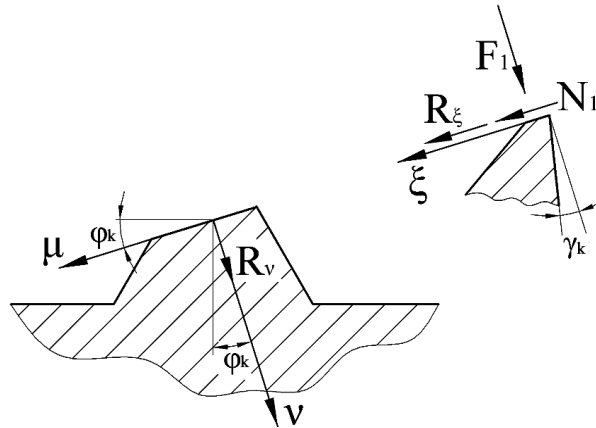


Рис. 1. Сила стружкоутворення та її проекції на площину стружкоутворення

Сили тертя на задніх поверхнях визначаються в головній січній площині, проте через складний профіль зуба мітчика вони відмінні на різальних кромках зуба і виражаються через нормальні напруження та коефіцієнт тертя на задній поверхні інструмента [1, 2].

Сили тертя по задній поверхні:

$$N = q_{N1} \cdot h_0 \cdot \left(\frac{a}{\sin \varphi_k} \right); \quad (1)$$

$$F = \mu_1 \cdot N_i,$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя; φ_k – кінематичний кут в плані мітчика [3]; h_0 – висота профілю різьби; q_{N1} – нормальні напруження, $q_{N1} = (0,7 \div 0,8) \cdot S_b$ [1].

За відомої сумарної довжини різальних кромки, товщина зрізаного шару a , що знімається m працюючими лезами може бути визначена як:

$$a = |\cos \beta| \cdot \sin \varphi_\theta \cdot \sum_{i=1}^m B_i, \quad (2)$$

де β – кут підйому різьби; $\operatorname{tg} \beta = \frac{p}{\pi \cdot d}$; p – крок різьби; d – зовнішній діаметр мітчика; $\sum_{i=1}^m B_i$ – сумарна довжина різальних кромки.

Отже, сили тертя на задніх поверхнях визначаються за залежностями:

$$\sum N = q_{N1} \cdot h_0 \cdot \left(|\cos \beta| \cdot \sum_{i=1}^m B_i \right); \quad (3)$$

$$\sum F = \mu_1 \cdot q_{N1} \cdot h_0 \cdot \left(|\cos \beta| \cdot \sum_{i=1}^m B_i \right).$$

Складові сили різання P_x , P_y , P_z визначаються за залежностями:

$$\begin{aligned} P_x &= (R_v + \sum N) \cdot \sin \varphi_\theta = R_x + \sum N \cdot \sin \varphi_\theta; \\ P_y &= (R_v + \sum N) \cdot \cos \varphi_\theta = R_y + \sum N \cdot \cos \varphi_\theta; \\ P_z &= R_\xi + \sum F. \end{aligned} \quad (4)$$

Отже визначення сил різання полягає в знаходженні проекцій сили стружкоутворення R_ξ , R_ν та питомих сил різання.

Питомі сили при постійному коефіцієнті тертя. Теоретичні формули розрахунку сил різання були запропоновані К.А. Зворикініним та Ф.Мерчантом і базувались на схемі зони стружкоутворення з єдиною площиною зузу (рис. 2).

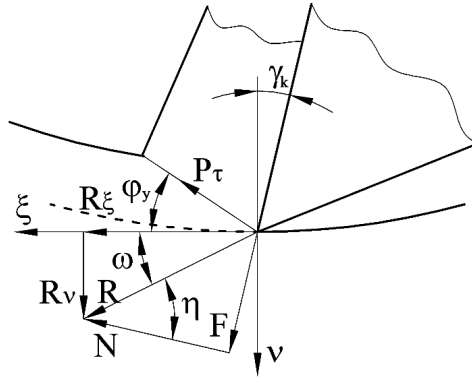


Рис. 2. Схема сил в площині стружкоутворення

Дотична складова сили стружкоутворення може бути визначена залежно від товщини зрізаного шару a , його ширини b та дотичного напруження τ_y в площині зсуву і кута зсуву φ_y :

$$P_\tau = \tau_y \frac{ab}{\sin \varphi_y}. \quad (5)$$

Рівнодійна сила стружкоутворення може бути визначена зі співвідношення:

$$R = \frac{P_\tau}{\cos(\varphi_y + \omega)} = \frac{\tau_y ab}{\cos(\varphi_y + \omega) \sin \varphi_y}, \quad (6)$$

де ω – кут дії, $\omega = \eta - \gamma_k$; η – кут тертя; γ_k – кінематичний передній кут [4–6]; $\eta = \arctg \mu$, де μ – коефіцієнт тертя.

Таким чином, проекції сили стружкоутворення на осі системи координат v , μ , ξ становлять:

$$\begin{aligned} R_\xi &= R \cos \omega = \frac{\tau_y ab \cos \omega}{\cos(\varphi_y + \omega) \sin \varphi_y}; \\ R_v &= R \sin \omega = \frac{\tau_y ab \sin \omega}{\cos(\varphi_y + \omega) \sin \varphi_y}. \end{aligned} \quad (7)$$

Або при визначених кількості працюючих лез та площ перерізів, що ними знімаються:

$$\begin{aligned} R_\xi &= K_\xi \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i; \\ R_v &= K_v \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i. \end{aligned} \quad (8)$$

де K_ξ , K_v – питомі сили стружкоутворення, що є функціями кута зсуву φ_y та кінематичного переднього кута γ_θ інструмента, або функціями усадки стружки ξ , кінематичного переднього кута інструмента γ_θ та відносної довжини контакту $\frac{c}{a}$ стружки з передньою поверхнею і можуть бути визначені за залежностями [7–9]:

$$\begin{aligned} K_\xi &= \frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\cos(\arctg \mu - \gamma_\theta)}{\cos(\varphi_y + \arctg \mu - \gamma_\theta) \sin \varphi_y} = \frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi + 1 / \xi - 2 \cdot \sin \gamma_\theta}{\cos \gamma_\theta} + \frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi}; \\ K_v &= \frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\sin(\arctg \mu - \gamma_\theta)}{\cos(\varphi_y + \arctg \mu - \gamma_\theta) \sin \varphi_y} = \frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\xi - \sin \gamma_\theta}{\cos \gamma_\theta} - \frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi - 1 / \xi - 2 \sin \gamma_\theta}{\cos \gamma_\theta} \cdot \operatorname{tg} \gamma_\theta. \end{aligned} \quad (9)$$

де $\frac{c}{a}$ – відносна довжина контакту, що може бути визначена як [8, 9], $\frac{c}{a} = \xi^{0,1} \left[\xi \cdot (1 - \operatorname{tg} \gamma_\theta) + \frac{2}{\cos \gamma_\theta} \right]$.

Проекції сили стружкоутворення з врахуванням питомих сил можуть бути визначені за наступними залежностями:

$$R_\xi = K_\xi \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i = \left(\frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi + 1 / \xi - 2 \cdot \sin \gamma_\theta}{\cos \gamma_\theta} + \frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi} \right) \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i; \quad (10)$$

$$R_v = K_v \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i = \left(\frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\xi - \sin \gamma_{\theta}}{\cos \gamma_{\theta}} - \frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi - 1 / \xi - 2 \sin \gamma_{\theta}}{\cos \gamma_{\theta}} \cdot \operatorname{tg} \gamma_{\theta} \right) \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i.$$

Із залежностей визначення питомих сил видно, що, в основному, впливають на питомі сили різання кінематичний передній кут γ_{θ} та усадка стружки ξ , проте усадка стружки не є змінним параметром й її величиною неможливо варіювати. Отже, здебільшого впливає на питомі сили різання передній інструментальний кут мітчика. За значеннями питомих сил різання визначаються складові сили різання P_z , P_y , P_x на робочій частині мітчика, що складається з різальної та калібрувальної частин.

Сили різання на різальній частині мітчика. Різальна частина мітчика, що містить декілька різальних кромки, розташованих під кутом нахилу різальної кромки λ_{θ} [4, 5, 6] працює в умовах обмеженого косокутного різання (рис. 3).

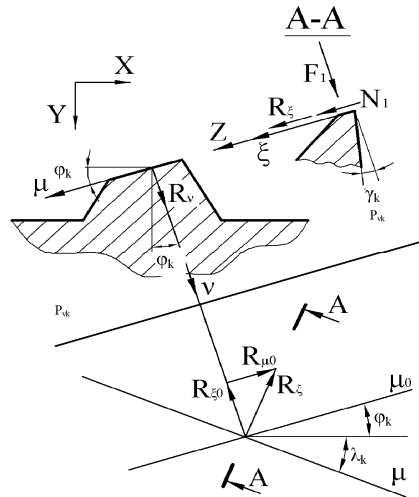


Рис. 3. Положення площини стружкоутворення при обмеженому косокутному точінні

Для обмеженого косокутного різання положення системи координат v , μ , ξ задається відносно системи координат v_0 , μ_0 , ξ_0 , відповідної прямокутному різанню.

У площині стружкоутворення v , ξ відомі проекції сили стружкоутворення R_{ξ} , R_v . Визначаємо проекції цієї сили стружкоутворення R_v на технологічні осі x , y :

$$\begin{aligned} R_{vx} &= R_v \cdot \sin \varphi_{\theta}; \\ R_{vy} &= R_v \cdot \cos \varphi_{\theta}. \end{aligned} \quad (11)$$

Проекція сили стружкоутворення R_{ξ} в системі координат v_0 , μ_0 , ξ_0 розкладається на складові:

$$\begin{aligned} R_{\xi 0} &= R_{\xi} \cdot \cos(\lambda_k + \varphi_{\theta}); \\ R_{\mu 0} &= R_{\xi} \cdot \sin(\lambda_k + \varphi_{\theta}). \end{aligned} \quad (12)$$

Складові проекції сили стружкоутворення $R_{\mu 0}$ проектується на технологічні осі x , y у вигляді:

$$\begin{aligned} R_{\mu x} &= R_{\xi} \cdot \sin(\lambda_{\theta} + \varphi_{\theta}) \cdot \cos \varphi_{\theta}; \\ R_{\mu y} &= R_{\xi} \cdot \sin(\lambda_{\theta} + \varphi_{\theta}) \cdot \sin \varphi_{\theta}. \end{aligned} \quad (13)$$

Результуючі значення проекцій сили стружкоутворення на технологічні осі x , y становлять:

$$\begin{aligned} R_x &= R_{vx} + R_{\mu x} = R_v \cdot \sin \varphi_{\theta} + R_{\xi} \cdot \sin(\lambda_{\theta} + \varphi_{\theta}) \cdot \cos \varphi_{\theta}; \\ R_y &= R_{vy} - R_{\mu y} = R_v \cdot \cos \varphi_{\theta} - R_{\xi} \cdot \sin(\lambda_{\theta} + \varphi_{\theta}) \cdot \sin \varphi_{\theta}. \end{aligned} \quad (14)$$

Таким чином, складові сили різання на різальній частині мітчика, з урахуванням питомих сил, визначаються за залежностями:

$$\begin{aligned} P_x &= (R_x + \sum N \cdot \sin \varphi_{\theta}) = \left(\left(\frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\xi - \sin \gamma_{\theta}}{\cos \gamma_{\theta}} - \frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi - 1 / \xi - 2 \sin \gamma_{\theta}}{\cos \gamma_{\theta}} \cdot \operatorname{tg} \gamma_{\theta} \right) \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i \cdot \sin \varphi_{\theta} \right) + \\ &+ \left(\frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi + 1 / \xi - 2 \cdot \sin \gamma_{\theta}}{\cos \gamma_{\theta}} + \frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi} \right) \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i \cdot \sin(\lambda_{\theta} + \varphi_{\theta}) \cdot \cos \varphi_{\theta} + q_{N1} \cdot h_0 \cdot \left(\left| \cos \beta \right| \cdot \sum_{i=1}^m B_i \right) \cdot \sin \varphi_{\theta} \end{aligned} \quad (15)$$

$$P_y = (R_y + \sum N \cdot \cos \varphi_{\theta}) = \left(\left(\frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\xi - \sin \gamma_{\theta}}{\cos \gamma_{\theta}} - \frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi - 1 / \xi - 2 \sin \gamma_{\theta}}{\cos \gamma_{\theta}} \cdot \operatorname{tg} \gamma_{\theta} \right) \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i \cdot \sin \varphi_{\theta} \right) - \quad (16)$$

$$-\left(\frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi + 1/\xi - 2 \cdot \sin \gamma_\theta}{\cos \gamma_\theta} + \frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi}\right) \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i \cdot \sin(\lambda_\theta + \varphi_\theta) \cdot \cos \varphi_\theta + q_{N1} \cdot h_0 \cdot \left(|\cos \beta| \cdot \sum_{i=1}^m B_i\right) \cdot \cos \varphi_\theta$$

$$P_z = \left(\left(\frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi + 1/\xi - 2 \cdot \sin \gamma_\theta}{\cos \gamma_\theta} + \frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi}\right) \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i \cdot \cos \lambda_\theta + \mu_1 \cdot q_{N1} \cdot h_0 \cdot |\cos \beta| \cdot \sum_{i=1}^m B_i \right) \quad (17)$$

Сили різання на калібрувальній частині мітчика. Калібрувальна частина мітчика призначена для остаточного формування профілю різьби з дотриманням вимог точності та якості остаточного сформованого профілю. Відсутність кута нахилу різальної кромки λ та деформаційної дії бічних різальних кромek калібрувальної частини на матеріал заготовки обумовлює здійснення процесу остаточного різьбонарізання в умовах обмеженого прямокутного точіння (рис. 4).

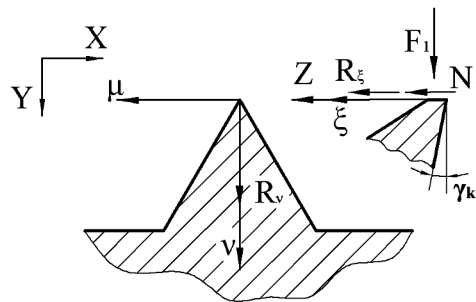


Рис. 4. Положення площини стружкоутворення при обмеженому прямокутному точінні

Оскільки основна робота різьбонарізання виконана і калібрувальна частина здійснює лише остаточне формування профілю різьби, сила стружкоутворення відсутня, наявні лише сили тертя обробленої поверхні заготовки по задній поверхні мітчика. Таким чином, формули визначення складових сили різання на калібрувальній частині трансформуються до наступного вигляду:

$$P_x = (\sin \varphi_\theta \cdot \sum N_i) = q_{N1} \cdot h_0 \cdot |\cos \beta| \cdot \sum_{i=1}^m B_i \cdot \sin \varphi_\theta; \quad (18)$$

$$P_y = (\cos \varphi_\theta \cdot \sum N_i) = q_{N1} \cdot h_0 \cdot |\cos \beta| \cdot \sum_{i=1}^m B_i \cdot \cos \varphi_\theta; \quad (19)$$

$$P_z = \sum F_i = \mu \cdot q_{N1} \cdot h_0 \cdot \left(|\cos \beta| \cdot \sum_{i=1}^m B_i\right). \quad (20)$$

Максимальна сила різьбонарізання виникає при обробленні максимальною кількістю зубців мітчика та відповідних їм лез, тобто при роботі різальної частини мітчика.

Крутний момент при нарізанні різьби мітчиками. При нарізанні різьби мітчиками найбільш важливою силовою характеристикою є крутний момент. Це пов'язано з тим, що при нарізанні різьби до мітчика прикладається крутний момент, що врівноважує момент $M_{\theta\theta}$, що виникає при різанні оброблюваного матеріалу. Інші силові характеристики, такі як осьові та радіальні сили, що діють на мітчик, не є визначальними, оскільки вони врівноважуються через симетричність різьбового отвору. Крутний момент, що виникає в процесі оброблення, буде складатись з крутних моментів утворених силами стружкоутворення та моментами, що виникають через тертя по заднім поверхням інструмента.

Крутний момент на мітчику визначиться сумою приростів крутних моментів, що відповідають всім одночасно працюючим лезам мітчика:

$$i_{\theta\theta} = \frac{(d-h)}{2} \cdot P_z = \frac{(d-h)}{2} \cdot (R_\xi \cdot \cos \lambda_\theta + \sum F) \quad (21)$$

або

$$i_{\theta\theta} = \frac{(d-h_0)}{2} \cdot \left(\left(\frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi + 1/\xi - 2 \cdot \sin \gamma_\theta}{\cos \gamma_\theta} + \frac{q_F}{S_b} \cdot (\xi^{0,1} \left[\xi \cdot (1 - \operatorname{tg} \gamma_\theta) + \frac{2}{\cos \gamma_\theta} \right] \cdot \frac{1}{\xi}) \cdot S_b \cdot \sum_{i=1}^m S_i \cdot \cos \lambda_\theta \right) + \right. \\ \left. + \frac{(d-h_0)}{2} \cdot \mu \cdot q_{N1} \cdot h_0 \cdot |\cos \beta| \cdot \sum_{i=1}^m B_i \right), \quad (22)$$

де $\sum_{i=1}^m S_i$ – сумарна площа перерізу шару, що знімається m лезами [1]; $\sum_{i=1}^m B_i$ – сумарна довжина різальних кромок [1]; S_b – межа міцності при розтязі; β – кут підйому різьби; λ_k – кінематичний кут нахилу різальних кромок [4–6]; h_0 – висота профілю різьби; μ_1 – коефіцієнт тертя по задній поверхні; R_ξ – безрозмірна питома сила [8, 9].

Аналіз залежності показує, що величина крутного моменту, який виникає при різьбонарізанні, залежить від механічних властивостей оброблюваного матеріалу (межа міцності, кут зсуву, усадка стружки) та геометрії різальної частини мітчика, а саме – переднього кута γ та кута в плані φ , що закладений в сумарні площу зрізу $\sum_{i=1}^m S_i$ та довжину різальних кромок $\sum_{i=1}^m B_i$.

Висновки. Отримані залежності дозволяють визначати сили різання та крутні моменти різьбонарізання в досліджуваних точках різальних кромок, при обробленні різних матеріалів, з урахуванням зміни кінематичних геометричних параметрів різальної частини мітчиків в процесі оброблення.

Список використаної літератури:

1. *Васин С.А.* Резание материалов : Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании / *С.А. Васин, А.С. Верецака, В.С. Кушнер.* – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 448 с.
2. *Кушнер В.С.* Основы теории стружкообразования : учеб. пособие. В 2-х кн. Кн. 1 : Механика резания / *В.С. Кушнер.* – Омск : Изд-во ОмГТУ, 1996. – 130 с.
3. *Равская Н.С.* Определение кинематического угла в плане и толщины среза при нарезании резьбы метчиком / *Н.С. Равская, Т.П. Николаенко, Д.А. Красновид* // Вестник НТУУ «КПИ» / Серія : Машиностроение. – 2003. – Вып. 44. – С. 121–122.
4. *Равська Н.С.* Геометрія різальної частини мітчика в кінематичній системі координат / *Н.С. Равська, Д.О. Красновид* // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – Вип. 1. – Житомир : ЖДТУ, 2005. – С. 363–374.
5. *Равська Н.С.* Методика аналітичного визначення геометричних параметрів різальної частини інструменту / *Н.С. Равська, Т.П. Николаенко, Д.О. Сільчин* // Наукові праці Донецького нац. техніч. ун-ту / Серія : Машинобудування і машинознавство. – 2009. – Вип. 6 (154). – С. 118–129.
6. *Равська Н.С.* Основи кінематичної теорії визначення геометричних параметрів різальної частини інструменту / *Н.С. Равська* // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 24. – С. 9–18.
7. *Розенберг Ю.А.* Методы аналитического определения степени деформации металла стружки при резании / *Ю.А. Розенберг* // Вестник машиностроения. – 2001. – № 3. – С. 34–37.
8. *Розенберг Ю.А.* Силы резания и методы их определения : в 2 ч. / *Ю.А. Розенберг, С.И. Тахман.* – Курган : КМИ, 1995. – Ч. 1 : Общие положения. – 1995. – 128 с.
9. *Розенберг Ю.А.* Силы резания и методы их определения : в 2 ч. / *Ю.А. Розенберг, С.И. Тахман.* – Курган : КМИ, 1995. – Ч. 2 : Расчет сил при различных видах обработки. – 1995. – 104 с.

КРАСНОВИД Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, старший викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- проектування різального інструменту;
- різьбонарізання;
- оброблення титанових сплавів.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2015