

Є.В. Скочко

ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗАЛЬНИХ ЧАСТИН РІЗЦІВ

Виконано аналітичне дослідження впливу миттєвого занурення лез при коливаннях різних конструкцій токарних прохідних різців на зміну активної довжини їх профілюючих кромки та інші характеристики різців при різанні, а також на деякі параметри обробленої поверхні.

Відомо, що коли головна різальна кромка виконує основну роботу по зрізання відносно товстих шарів припуску і перетворенню їх в стружку, то профілююча частина кромки зрізає значно меншу товщину шарів. Відомо також, що від дії сил при різанні часто виникають деформації і коливання різця з деяким миттєвим зануренням Δ його леза в заготовку. При цьому збільшуються складові активних довжин профілюючої частини кромки як з боку головної, так і допоміжної різальних кромки.

Виникає гіпотеза існування великої чутливості впливу миттєвого занурення лез деяких різців на миттєве подовження профілюючої, найбільш вразливої частини відносно появи і розвитку вібрацій при різанні. Цікавим є також співставлення теоретичних висот гребінців мікронерівностей, повних активних довжин головних і профілюючих частин різальних кромки при роботі різних різців.

Дослідження цікаво провести для різних стандартних (як правило, вершинних), так і безвершинних конструкцій прохідного токарного різця як при ортогональному, так і косокутному різанні.

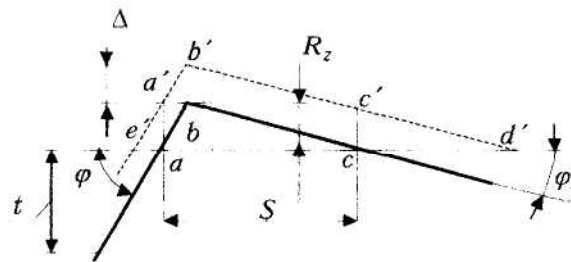


Рис. 1

1. Спочатку розглянемо найпростіший вершинний різець ортогонального різання з двома прямолінійними різальними кромками без дугового з'єднання між ними (рис. 1)

Початкове положення профілюючої частини леза – трикутник abc , кінцеве, після миттєвого занурення на величину Δ в заготовку – трикутник $e'b'd'$ (який включає трикутник $ab'c'$, рівний початковому). Як початкова лінія $ac = S$, так і кінцева лінія $e'acd'$ повинні вважатись як оброблена поверхня деталі (вона проходить по гребінцях мікронерівностей). Ділянка $c'd'$ профілюючої частини теж буде різати тому, що в цій зоні знаходиться пластичний надлишок на кожному гребінці мікронерівності (він створюється від частини матеріалу краю стружки). Якщо початкова висота гребінців мікронерівностей визначається відомою залежністю

$$R_z = \frac{S^2}{8R}, \tag{1}$$

то кінцева висота (при миттєвому зануренні) буде:

$$R'_z = R_z + \Delta = \frac{S^2}{8R} + \Delta, \tag{2}$$

де S – величина подачі; R – радіус при вершині.

Частина профілюючої ділянки різальної кромки визначається при використанні теореми синусів:

$$\frac{ab}{\sin \varphi_1} = \frac{bc}{\sin \varphi} = \frac{ac}{\sin [180^\circ - (\varphi + \varphi_1)]} \left[= \frac{S}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \right]. \tag{3}$$

Повна початкова (без миттєвого подовження) довжина профілюючої частини знаходиться :

$$l_{n, проф} = ab + bc = \frac{S(\sin \varphi + \sin \varphi_1)}{\sin(\varphi + \varphi_1)}. \tag{4}$$

З урахуванням миттєвого занурення повна довжина профілюючої ділянки кромки визначається:

$$l_{max} = e' a' + a' b' + b' c' + c' d' = \frac{\Delta}{\sin \varphi} + \frac{S(\sin \varphi + \sin \varphi_1)}{\sin(\varphi + \varphi_1)} + \frac{\Delta}{\sin \varphi_1}, \quad (5)$$

а величини її подовження:

$$l_{nod} = e' a' + c' d' = \frac{\Delta}{\sin \varphi} + \frac{\Delta}{\sin \varphi_1} = \Delta \frac{(\sin \varphi + \sin \varphi_1)}{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}. \quad (6)$$

Тоді відносне подовження знаходиться за формулою:

$$\frac{l_{nod}}{l_{nprof}} = \frac{\Delta}{S} \cdot \frac{\sin(\varphi + \varphi_1)}{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}. \quad (7)$$

Величина чутливості активної довжини профілюючої ділянки кромки до миттєвого занурення Δ різця визначається діленням подовження на цю величину:

$$F = \frac{l_{nod} / l_{nprof}}{\Delta} = \frac{1}{S} \cdot \frac{\sin(\varphi + \varphi_1)}{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}. \quad (8)$$

Повна довжина активної частини головної різальної кромки, як відомо, визначається:

$$l_{don} = \frac{t - R_z}{\sin \varphi} \approx \frac{t}{\sin \varphi}, \quad (9)$$

де t – глибина різання.

А теоретична висота гребінців мікронерівностей знаходиться за формулою:

$$R_z = S \frac{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}. \quad (10)$$

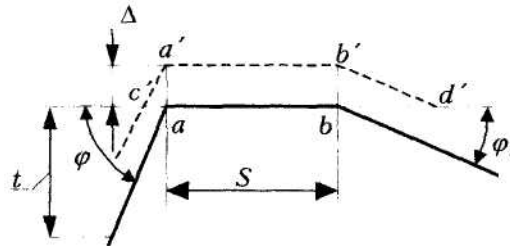


Рис. 2

2. По-друге, розглянемо різець з допоміжною (зачистною) різальною кромкою і кутом в плані, рівним нулю (рис. 2), та її довжиною, рівною $l_{don} = (1,1, \dots, 1,3)S$, відомий як різець конструкції В.П. Колесова. Для спрощення прийемо $l_{nprof} = l_{don} = S$. Відносна вібростійкість такого різця спостерігається лише при великих подачах $S = 1,5, \dots, 3$ (мм/об). Крім того, установити і зберегти початкове положення зачистної кромки ab досить важко (як за направленням відносно подачі, так і нульової напруженої величини початкового занурення). В цьому випадку початкова теоретична величина $R_z = 0$, кінцева – $R_z = \Delta$.

Подовження профілюючої ділянки кромки при миттєвому зануренні лека на величину Δ , як і раніше, визначається за формулою:

$$l_{nod} = c' a' + b' d' = \frac{\Delta}{\sin \varphi} + \frac{\Delta}{\sin \varphi_1} = \frac{\Delta(\sin \varphi + \sin \varphi_1)}{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}, \quad (11)$$

а повна довжина профілюючої ділянки буде:

$$l_{повна} = \frac{\Delta(\sin \varphi + \sin \varphi_1)}{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1} + S. \quad (12)$$

Тоді відносне подовження:

$$\frac{l_{nod}}{l_{nprof}} = \frac{\Delta}{S} \cdot \frac{\sin \varphi + \sin \varphi_1}{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}. \quad (13)$$

Величина чутливості довжини профілюючої ділянки кромки до миттєвого занурення Δ різця знаходиться за формулою:

$$F = \frac{l_{\text{нод}}/l_{\text{проф}}}{\Delta} = \frac{1}{S} \cdot \frac{\sin \varphi + \sin \varphi_1}{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1} \quad (14)$$

Довжина головної різальної кромки, як і раніше, визначається:

$$l_{\text{гол}} = \frac{t - R_z}{\sin \varphi} \approx \frac{t}{\sin \varphi} \quad (15)$$

3. Третю форму леза різця ортогонального різання розглянемо як таку, що має безвершинну різальну частину – пластину круглої форми (згідно ГОСТ 25403-82, ГОСТ 19069-80, ГОСТ 19070-80, ГОСТ 19071-80, ГОСТ 19072-80).

З геометричного міркування повинно бути, щоб найбільший кут $\varphi \leq 95^\circ$, тобто максимальна глибина різання в цьому випадку не повинна значно перевищувати радіус пластини ($t_{\text{max}} = 5, \dots, 13$ мм), але через низьку вібростійкість процесу різання навіть цю величину зменшують (а подачу збільшують).

Теоретична початкова висота гребінців мікронерівностей, як відомо, визначається:

$$R_z = \frac{S^2}{8R}, \quad (16)$$

де R – радіус пластинки; S – подача.

Початковий допоміжний кут в плані для крайніх точок профілюючої ділянки визначається:

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{S}{2R} \quad (17)$$

Миттєве занурення леза на величину Δ призводить до кінцевого підвищення гребінців на ту ж величину:

$$R'_z = R_z + \Delta = \frac{S^2}{8R} + \Delta \quad (18)$$

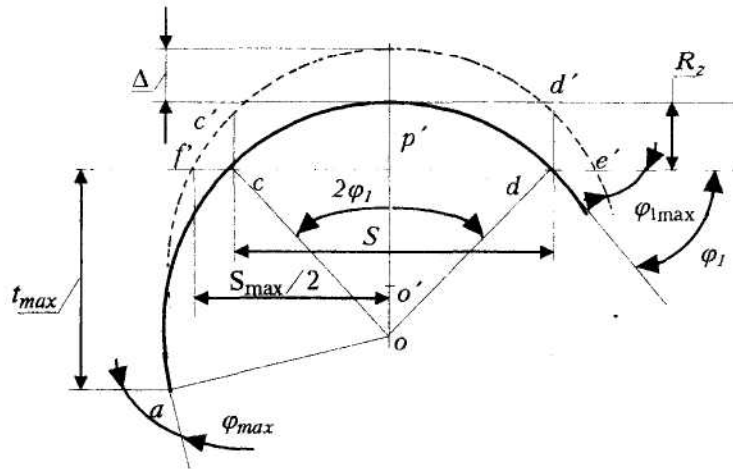


Рис. 3

Це занурення еквівалентне деякій уявній збільшеній подачі S_{max} , величина якої знайдеться з $\Delta f'p'o'$ (рис. 3):

$$R^2 = \left(\frac{S_{\text{max}}}{2}\right)^2 + [R - (R_z + \Delta)]^2, \quad (19)$$

де R – радіус пластинки (різальної кромки) різця.

Враховуючи, що $(R_z + \Delta)^2 \ll R^2$, відкинемо цю надто малу величину і в результаті знайдемо:

$$S_{\text{max}} = \sqrt{8R(R_z + \Delta)} = \sqrt{S^2 + 8R\Delta} \quad (20)$$

Використовуючи це значення, визначимо збільшену величину допоміжного кута в плані:

$$\varphi_{1\text{max}} = \arcsin \frac{S_{\text{max}}/2}{R} = \arcsin \frac{\sqrt{S^2 + 8R\Delta}}{2R} = \arcsin \sqrt{\frac{S^2}{4R^2} + 2\frac{\Delta}{R}} \quad (21)$$

Початкова (без миттєвого занурення) довжина профілюючої ділянки кромки визначається:

$$l_{n\text{проф}} = \frac{2\varphi_1}{180^\circ} \cdot \pi R, \tag{22}$$

а кінцева:

$$l_{\text{max}} = \frac{\pi R}{180^\circ} \cdot 2 \arcsin \sqrt{\frac{S^2}{4R^2} + 2 \frac{\Delta}{R}}. \tag{23}$$

Збільшення початкової довжини профілюючої ділянки кромки при миттєвому зануренні леза на величину Δ має бути:

$$l_{\text{под}} = \frac{\pi R}{90^\circ} \cdot \left(\arcsin \sqrt{\frac{S^2}{4R^2} + 2 \frac{\Delta}{R}} - \varphi_1 \right). \tag{24}$$

Співвідношення приросту довжини відносно початкової довжини профілюючої ділянки знаходиться за формулою:

$$\frac{l_{\text{под}}}{l_{n\text{проф}}} = \frac{1}{\varphi_1} \arcsin \sqrt{\frac{S^2}{4R^2} + 2 \frac{\Delta}{R}} - 1. \tag{25}$$

Величина чутливості довжини профілюючої ділянки до миттєвого занурення Δ леза визначається:

$$F = \frac{l_{\text{под}} / l_{n\text{проф}}}{\Delta} = \frac{1}{\Delta} \left(\frac{\arcsin \sqrt{\frac{S^2}{4R^2} + 2 \frac{\Delta}{R}}}{\varphi_1} - 1 \right). \tag{26}$$

Найбільш можлива довжина головної різальної кромки буде:

$$l_{\text{гол.мах}} = \frac{(\varphi_{\text{мах}} - \varphi_1)}{180^\circ} \cdot \pi R, \tag{27}$$

де $\varphi_{\text{мах}} = 95^\circ, \dots, 100^\circ$.

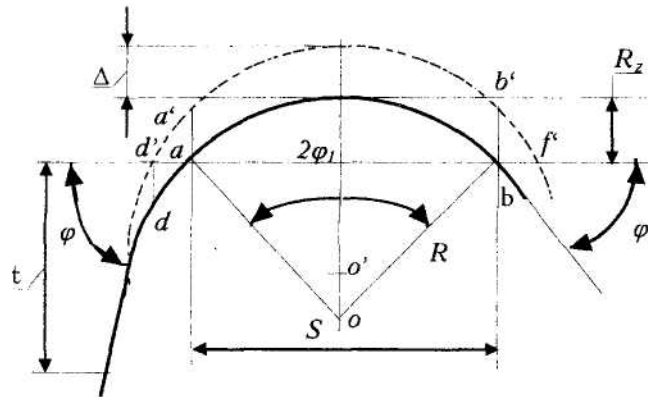


Рис. 4

4. Проаналізуємо наступну форму різальної частини різця ортогонального різання з двома прямолінійними різальними кромками, заокругленої на вершині радіусом R (рис. 4).

Як видно з рисунка, геометричних обмежень на максимальну глибину різання в цьому випадку немає. Є фізичні обмеження, пов'язані з малою вібростійкістю процесу різання такими різцями, особливо при великих радіусах R , і малими допоміжними кутами в плані.

Аналогічно попередньому випадку, повна початкова довжина профілюючої ділянки кромки знаходиться:

$$l_{n\text{проф}} = 2 \frac{\varphi_1}{180^\circ} \cdot \pi R, \text{ при } \varphi_1 < \arcsin \frac{S}{2R}, \tag{28}$$

а уявна збільшена подача:

$$S_{\text{мах}} = \sqrt{S^2 + 8R\Delta}. \tag{29}$$

Також аналогічно одержимо збільшене значення допоміжного кута в плані (тільки для лівої дугової частини):

$$\varphi_{1max} = \arcsin \sqrt{\frac{S^2}{4R^2} + 2 \frac{\Delta}{R}} \quad (30)$$

Повне подовження профілюючої ділянки кромки при миттєвому зануренні леза на величину Δ складається з дугової і прямолінійної частин:

$$l_{под} = l_{дуг} + l_{под} = d' a' + b' f' = \frac{\varphi_{1max} - \varphi_1}{180^\circ} \pi R + \frac{\Delta}{\sin \varphi_1} \quad (31)$$

Повна довжина збільшеної профілюючої ділянки кромки знаходиться:

$$l_{max} = l_{н.роф} + l_{под} = \left(2 \frac{\varphi_1}{180^\circ} + \frac{\varphi_{1max} - \varphi_1}{180^\circ} \right) \pi R + \frac{\Delta}{\sin \varphi_1} = \frac{\varphi_{1max} + \varphi_1}{180^\circ} \pi R + \frac{\Delta}{\sin \varphi_1} \quad (32)$$

Відносне подовження буде:

$$\frac{l_{под}}{l_{н.роф}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\varphi_{1max}}{\varphi_1} - 1 \right) + \frac{\Delta \cdot 90^\circ}{\varphi_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \pi R} \quad (33)$$

Чутливість довжини профілюючої ділянки до миттєвого занурення леза:

$$F = \frac{l_{под} / l_{н.роф}}{\Delta} = \frac{1}{2 \cdot \Delta} \left(\frac{\varphi_{1max}}{\varphi_1} - 1 \right) + \frac{90^\circ}{\varphi_1} \cdot \frac{1}{\pi R \cdot \sin \varphi_1} \quad (34)$$

Довжина головної різальної кромки, як і раніше, визначається:

$$l_{гол} \approx \frac{t}{\sin \varphi} \quad (35)$$

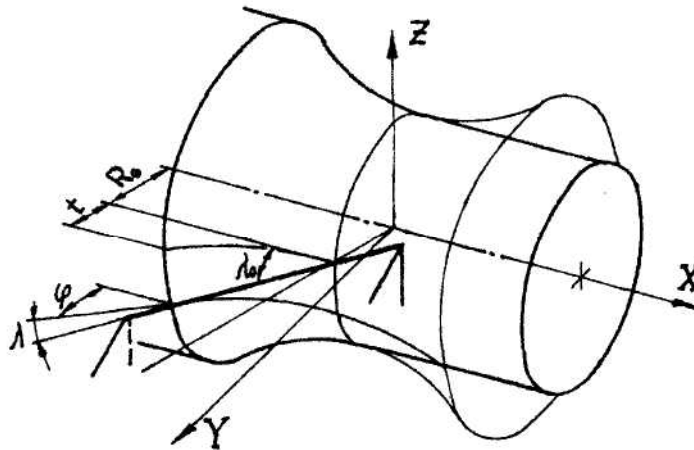


Рис. 5

5. П'ятою формою різальної частини різця косокутного різання оберемо безвершинну прямолінійну похилу кромку з гвинтовими передньою і задньою поверхнями (рис. 5). Поверхня різання в цьому випадку – конволютна гвинтова, але якщо $S \ll 2\pi R_0$, то з невеликою похибкою її можна прийняти за поверхню однопорожнинного гіперолоїда обертання, математичний запис якого:

$$-\frac{x^2}{b^2/a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (35)$$

або

$$-a^2 x^2 + y^2 + z^2 = b^2 \quad (36)$$

Різальна кромка – пряма, віддалена від осі обертання заготовки на відстань $y = R_0$, рівну радіусу деталі, нахилена до горизонтальної XOY площини під кутом λ_0 запишеться у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} z = \operatorname{tg} \lambda_0 \cdot x, \\ y = R_0. \end{cases} \quad (37)$$

Враховуючи, що $a = \operatorname{tg} \lambda_0$, рівняння гіперолоїда запишеться:

$$-\operatorname{tg}^2 \lambda_0 \cdot x^2 + y^2 + z^2 = R_0^2 \quad (38)$$

Теоретичну початкову (без миттєвого занурення) висоту гребінців мікронерівностей при точінні різцем з похилою безвершинною прямолінійною різальною кромкою можна визначити, підставляючи в рівняння гіперолоїда:

$$z = 0; x = \frac{S}{2}; y = R_0 + R_z. \quad (39)$$

Одержимо:

$$-\left(\frac{S}{2}\right)^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \lambda_0 + (R_0 + R_z)^2 = R_0^2. \quad (40)$$

Після перетворень і відкидання значно малої величини $R_z^2 \ll R_0^2$ матимемо визначення величини мікронерівностей:

$$R_z = \frac{S^2 \operatorname{tg}^2 \lambda_0}{8R_0}, \quad (41)$$

а при умові миттєвого занурення леза різця на величину Δ , одержимо підвищення величин мікронерівностей, еквівалентне миттєвому збільшенню уявної подачі до значення S_{max} , коли

$$R_{z \max} = R_z + \Delta = \frac{S_{max}^2 \operatorname{tg}^2 \lambda_0}{8R_0}, \quad (42)$$

і тоді

$$\frac{S_{max}^2 \operatorname{tg}^2 \lambda_0}{8R_0} = \frac{S^2 \operatorname{tg}^2 \lambda_0}{8R_0} + \Delta, \quad (43)$$

звідки

$$S_{max} = \sqrt{S^2 + 8 \frac{R_0 \cdot \Delta}{\operatorname{tg}^2 \lambda_0}}. \quad (44)$$

Довжина профілюючої ділянки різальної кромки визначається (рис. 5):

$$l_{n \text{ проф}} = 2 \frac{S/2}{\cos \lambda_0} = \frac{S}{\cos \lambda_0}, \quad (45)$$

а при миттєвому зануренні леза різця на величину буде:

$$l_{max} = 2 \frac{S_{max} / 2}{\cos \lambda_0} = \frac{S_{max}}{\cos \lambda_0} = \sqrt{\frac{S_{max}^2}{\cos^2 \lambda_0} + \frac{8R_0 \Delta}{\sin^2 \lambda_0}}. \quad (46)$$

Величина миттєвого подовження знаходиться за формулою:

$$l_{\text{под}} = l_{max} - l_{n \text{ проф}} = \frac{S_{max} - S}{\cos \lambda_0}. \quad (47)$$

Тоді відносне подовження профілюючої ділянки різальної кромки визначається:

$$\frac{l_{\text{под}}}{l_{n \text{ проф}}} = \frac{\frac{S_{max} - S}{\cos \lambda_0}}{S / \cos \lambda_0} = \frac{S_{max} - S}{S} - 1 = \sqrt{1 + 8 \frac{R_0 \cdot \Delta}{S^2 \operatorname{tg}^2 \lambda_0}} - 1, \quad (48)$$

а чутливість довжини профілюючої ділянки до величини миттєвого занурення різця буде:

$$F = \frac{l_{\text{под}}}{l_{n \text{ проф}} \Delta} = \frac{1}{\Delta} \left(\sqrt{1 + 8 \frac{R_0 \cdot \Delta}{S^2 \operatorname{tg}^2 \lambda_0}} - 1 \right). \quad (49)$$

Підставляючи у вираз для довжини головної різальної кромки (рис. 5):

$$l_{\text{гол}} = \frac{1}{\sin \lambda_0} \sqrt{R^2 - (R_0 + R_z)^2}, \quad (50)$$

значення $R = (R_0 + R_z) + t$, одержимо:

$$l_{\text{гол}} = \frac{\sqrt{(R_0 + R_z)^2 + 2(R_0 + R_z)t + t^2 - (R_0 + R_z)^2}}{\sin \lambda_0} = \frac{\sqrt{t^2 + 2(R_0 + R_z)t}}{\sin \lambda_0}. \quad (51)$$

Порівняння відомих форм головних і профілюючих різальних частин різців та найбільш вживаних величин геометричних параметрів дозволяє вибрати з них деякі найкращі ділянки з метою подальшого синтезу удосконалених різців за ознаками як мінімальної висоти гребнів мікронерівності, так і малої чутливості до виникнення і розвитку коливань при різанні.

СКОЧКО Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металорізальних верстатів і систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- теорія різання;
- металорізальні верстати та різальні інструменти.