

С.В. Швець

ЗАКРУЧУВАННЯ СТРУЖКИ

Описано взаємодію стружки та застійної зони, встановлено причину додаткового згинання. Одержані формули для розрахунків радіуса закручування.

Вступ

Питанню закручування стружки приділяється багато уваги (наприклад [5]), тому що воно тісно пов'язане з механізмом стружкоутворення. Воно існує в контексті з теоретичним осмисленням усіх послідовних актів процесу різання металів. Відповідь на нього дає чітке розуміння фізичних явищ та визначає геометричні переміщення при утворенні стружки. Тому ясність механізму закручування стружки означає досконалість та повноту висновків щодо процесу її утворення. А з практичної точки зору, знання цього механізму дозволяє точно, без додаткових експериментальних робіт, призначати оптимальні умови подріблення.

1. Взаємодія поверхонь застійної зони та стружки

На рисунку 1 зображено початок (передня поверхня леза $A_{\gamma 1}$) і завершення (передня поверхня в положенні $A_{\gamma 3}$) утворення елемента стружки. Для спрощення аналізу передній кут $\gamma = 0$.

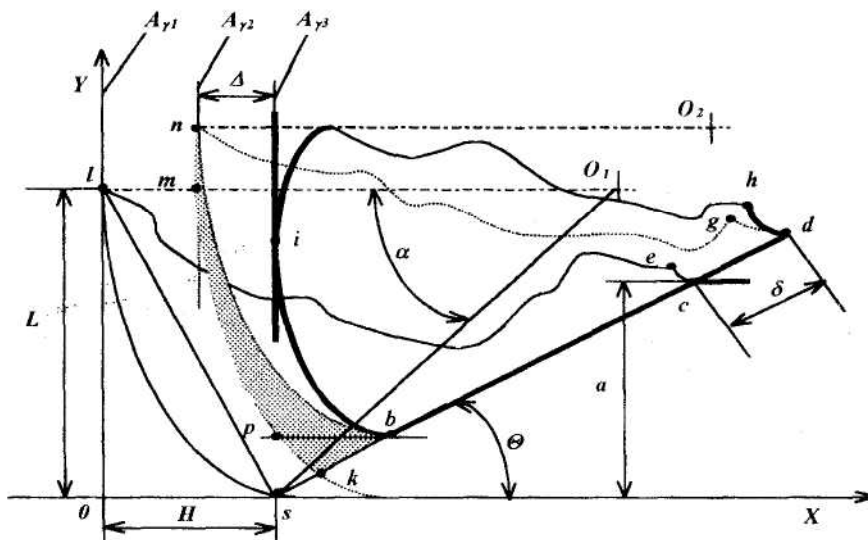


Рис. 1

Межа між застійною зоною на передній поверхні леза та стружкою (лінія ls) – це одна з ліній ковзання, що утворюються при стисненні металу [9]. Цю лінію можна апроксимувати дугою кола з центром в якійсь точці O_1 [7]. Якщо поверхня застійної зони ls плавно переходить у поверхню леза $A_{\gamma 1}$ у точці l , то передня поверхня є дотичною в цій точці до кола з центром O_1 , що проходить через точки l та s . Умова дотичності дозволяє визначити єдине коло, що проходить через вершину s та крайню точку підніжжя l застійної зони. У системі координат XOY (початок якої співпадає з вершиною леза, а вісь OX спрямована у напрямі руху леза) рівняння цього кола має вигляд [4]

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = R^2, \tag{1}$$

де x_1, y_1 – координати центра O_1 ;

R – радіус кола.

Координата y_1 дорівнює довжині підніжжя застійної зони на передній поверхні леза, $y_1 = L$. Значення x_1 одержимо, прирівнюючи відрізки $lO_1((0; L), (x_1; L))$ та $sO_1((H; 0), (x_1; L))$, H – висота застійної зони.

Тоді

$$\sqrt{(x_1 - H)^2 + (L - 0)^2} = \sqrt{(x_1 - 0)^2 + (L - L)^2}, \quad x_1 = \frac{H^2 + L^2}{2H}. \quad (2)$$

Як бачимо (рис. 1), радіус кола дорівнює координаті x_1 . Тобто

$$R = (H^2 + L^2)/(2H). \quad (3)$$

Коли тільки но утворилась поверхня зколювання sc , лінія ls належить і застійній зоні sO_1 , і елементу стружки $lsce$. Але при подальшому русі елемента по поверхні зколювання, між поверхнею застійної зони та поверхнею стружки може утворитись прогалина $kpmnb$. Це можливо, якщо елемент, не змінюючи свою форму, буде пересуватись по площині sc (положення $nbdg$), а застійна зона у прямолінійно-поступальному русі разом з лезом (A_2) перейде в положення mpk .

Проте, абсолютно жорсткої стружки бути не може і вона додатково згинається лезом або під час руху по площині зколювання, або при остаточній фіксації елемента на цій поверхні. Тобто повністю прогалина knb зникає тільки при додатковій деформації вигином. При цьому створюється остаточна форма стружки $brhd$.

З іншого боку, не може бути і ідеальних умов для створення щільного контакту між поверхнями застійної зони та стружки. Описаний механізм взаємодії цих поверхонь може бути однією з причин розривів між застійною зоною та стружкою, які видно на мікрошліфах коренів стружки (рис. 79,а [3] та рис. 2.13,в [1]). В.Ф. Бобров також спостерігав, що "между наростом, стружкой и поверхностью резания появляются зазоры [2]".

Отже виходить, що закручування стружки залежить від кривизни траєкторії її руху вздовж леза та додаткового згинання під час зсуву елемента по площині зколювання.

2. Переміщення леза при додатковому згинанні стружки

Величину зсуву елемента можна визначити за формулою

$$\delta = \frac{\eta}{100} aK, \quad (4)$$

де η – зсув у % по відношенню до товщини стружки;

a – товщина зрізування;

K – коефіцієнт усадки стружки.

Переміщення точки c в положення d на величину δ (без додаткового згинання стружки) означає просту зміну координат центра кола, яке окреслює її поверхню за дугою nb .

Нові координати центра O_2 дорівнюють:

$$x_2 = x_1 + \delta \cdot \cos \Theta, \quad y_2 = y_1 + \delta \cdot \sin \Theta,$$

де Θ – кут поверхні зколювання. Враховуючи (2), запишемо:

$$x_2 = (H^2 + L^2)/(2H) + \delta \cdot \cos \Theta, \quad y_2 = L + \delta \cdot \sin \Theta. \quad (5)$$

Найбільша відстань між поверхнями mk та nb може бути Δ , що дорівнює відрізку pb (рис. 1). Цей відрізок можна визначити як різницю координат по осі X його крайніх точок:

$$\Delta = x_b - x_p. \quad (6)$$

Легко побачити, що

$$x_b = H + \delta \cdot \cos \Theta. \quad (7)$$

Значення x_p знайдемо на підставі наступних міркувань. Відповідно до виразу (1), враховуючи (2) та (3), рівняння кола, якому належить дуга mk , запишеться

$$(x - (R - \delta \cdot \cos \Theta))^2 + (y - L)^2 = R^2,$$

або

$$x^2 - 2x(R + \delta \cdot \cos \Theta) + 2R\delta \cdot \cos \Theta + \delta^2 \cdot \cos^2 \Theta + y^2 - 2Ly + L^2 = 0. \quad (8)$$

Якщо $y_p = y_b = \delta \sin \Theta$, то підставивши цей вираз та (3) в (8), одержимо рівняння для визначення координати x_p :

$$x_p^2 - 2x_p \left(\frac{H^2 + L^2}{2H} + \delta \cdot \cos \Theta \right) + \frac{H^2 + L^2}{H} \delta \cdot \cos \Theta + \delta^2 - 2L\delta \sin \Theta + L^2 = 0. \quad (9)$$

Позначимо

$$A = - \left(\frac{H^2 + L^2}{H} + 2\delta \cos \Theta \right), \quad B = \frac{H^2 + L^2}{H} \delta \cos \Theta + \delta^2 - 2L\delta \sin \Theta + L^2. \quad (10)$$

Тоді вираз (9) набуває вигляду квадратного рівняння

$$x_p^2 + A \cdot x_p + B = 0,$$

розв'язуючи яке одержимо

$$x_{p1,2} = -\frac{A}{2} \pm \sqrt{\frac{A^2}{4} - B}.$$

Із двох коренів підходить менший, тобто та точка перетину кола (якому належить дуга mk) з прямою, що проходить паралельно осі OX через точку p , яка ближча до осі OY . Отже,

$$x_p = -A/2 - \sqrt{A^2/4 - B}. \quad (11)$$

Підставляючи (7) та (11) в (6), одержуємо

$$\Delta = H + \delta \cdot \cos \Theta + A/2 + \sqrt{A^2/4 - B}. \quad (12)$$

3. Зовнішній радіус стружки

Щоб не утворювалася прогалина $kpmnb$, криволінійна поверхня nb додатково згинається на величину Δ (передня поверхня леза переходить із положення $A\gamma_2$ в положення $A\gamma_3$) і утворюється поверхня ib радіуса R_1 , $R_1 < R$.

Центр кола O_3 , що окреслює дугу ib , лежить на прямій, що проходить через точки b та O_2 (рис. 2).

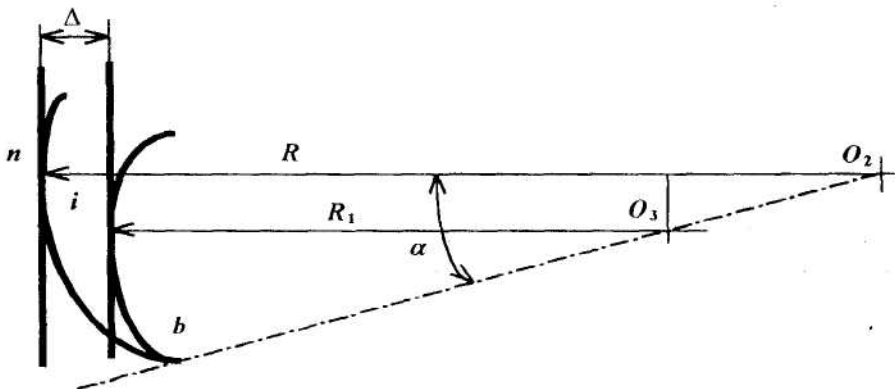


Рис. 2

Тому

$$R_1 = R - \Delta - (R - R_1) \cos \alpha,$$

звідки

$$R_1 = R - \frac{\Delta}{1 - \cos \alpha} \quad (13)$$

Кут α (рис. 2) дорівнює куту $\angle O_1s$ (рис. 1) і його можна визначити як

$$\alpha = 2 \arcsin \left(\frac{\sqrt{H^2 + L^2}}{2R} \right) \quad (14)$$

Рівняння (4), (10), (12), (3), (14), (13) складають математичну модель закручування стружки. Вони створюють геометричну залежність

$$R_1 = f(a, K, \eta, \Theta, H, L) \quad (15)$$

4. Результати розрахунків та їх експериментальне підтвердження

Аналітичне дослідження залежності (15) показало характер та ступінь впливу на радіус закручування стружки різних чинників (рис. 3). При зміні одного з параметрів під час розрахунків вихідних даних для побудови графіка відповідних функцій всі інші мали такі постійні значення: $a = 2$ мм; $K = 2$; $\eta = 10$ %; $\theta = 45^\circ$; $H = 0,2$ мм; $L = 0,8$ мм.

Видно, що збільшення a , K , η , θ призводить до зменшення радіуса закручування R_1 . Проте, вплив a , K , η , θ у порівнянні з L та H досить незначний. Це пояснюється тим, що розміри застійної зони, крім впливу на додаткове закручування, змінюють ще й радіус траєкторії руху стружки R .

Дуже різке збільшення радіуса закручування R_1 відбувається при малій висоті застійної зони H . При $H \rightarrow 0$, $R_1 \rightarrow \infty$. Такий характер залежності $R_1 = f(H)$ співпадає з експериментальними результатами. При точінні сталі X18H9T з $V = 3$ м/с, $S = 0,07$ мм/об, $t = 0,1$ мм збільшення переднього кута леза γ викликало зростання радіуса закручування стружки. Коли значення переднього кута переходило за 35° , стружка набувала вигляду прямої стрічки [8]. Це пояснюється тим, що збільшення γ спричиняє різке падіння висоти застійної зони. Отже, можна говорити про ідентичність результатів аналітичних та експериментальних досліджень залежності $R_1 = f(H)$.

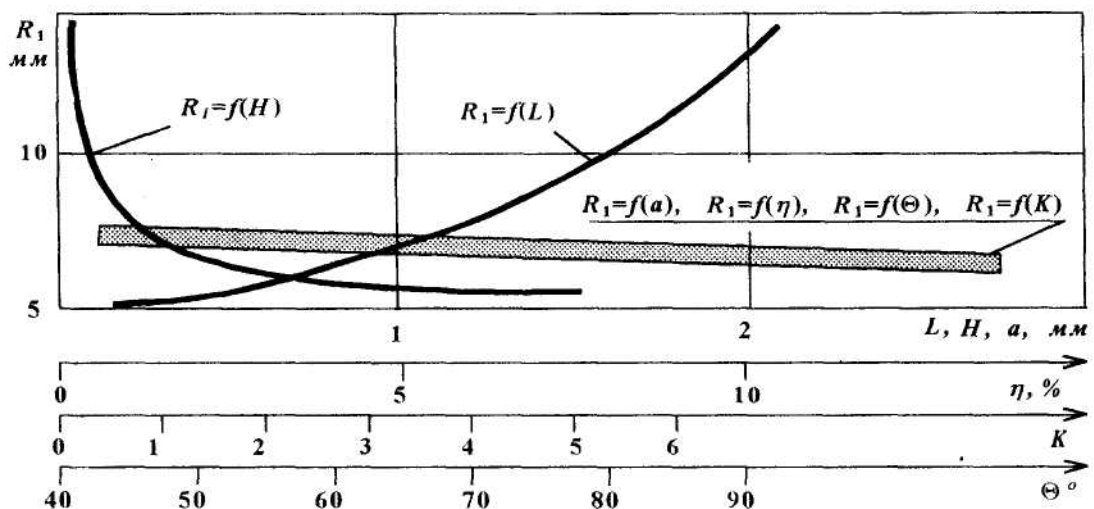


Рис. 3

Є експериментальні докази [6] того, що зменшення параметра L за рахунок ширини фаски на передній поверхні леза поліпшує процес закручування стружки (зменшується R_1). Отже і ця залежність $R_1 = f(L)$ співпадає з розрахунковою (рис. 3).

Висновки

Радіус закручування стружки R_1 утворюється завдяки кривизні траєкторії її руху R та додаткового згинання при ковзанні по поверхні зколювання. Тому завжди $R_1 < R$.

Основними чинниками закручування стружки є висота H та довжина підніжжя L застійної зони, тому що ці розміри впливають на радіус траєкторії руху стружки вздовж передньої поверхні та на додаткове згинання при зміщенні її по поверхні зколювання. У зв'язку з цим можна сказати, що закручування стружки залежить від властивостей матеріалу, що обробляється, у процесі різання, від швидкості різання, від геометрії та форми передньої поверхні леза.

Геометрично товщина зрізування a , коефіцієнт усадки K , відносне зміщення елементів стружки у % η та кут зколювання Θ впливають лише на додаткове згинання (рис. 1). Проте, відокремити таким чином вплив одного з чинників на R_1 неможливо, тому що зміни будь-якого з них змінюють і характеристики пластичної деформації, тобто L та H . Наприклад, створення вздовж ріжучої кромки канавок різних радіусів дуже впливає на закручування і подрібнення стружки, тому що при цьому штучно змінюється R .

Рівняння (3), (4), (10), (12-14) дозволяють вирішувати і обернену задачу. Тобто вимірявши радіус закручування одержаної стружки та довжину застійної зони (довжину контакту на передній поверхні), можна розрахувати висоту застійної зони у процесі різання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Армарего И. Дж. А., Браун Р. Х. Обработка металлов резанием. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
2. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. Зорев Н. Н., Фетисова З. М. Обработка резанием тугоплавких сплавов. – М.: Машиностроение, 1966. – 227 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
5. Куфарев Г. Л. Причины и механизм формирования стружки пластичных металлов в спирали различных типов // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. – Томск: ТПУ, 1997. – С. 34-40.
6. Розенберг А. М. Резание металлов и инструмент. – М.: Машиностроение, 1972. – 175 с.
7. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
8. Shvets S. V., Astakhov V. P., Osman M. O. M. Ship Structure classification based on mechanics of its formation // Materials Processing Technology, 1997. – Vol. 71/2. – P. 247-257.
9. Shvets S. V., Astakhov V. P., Osman M. O. M. The Bending Moment as the Cause of Chip Formation // Manufacturing Science and Engineering. ASME, 1997. – Vol. 2. – P. 53-60.

ШВЕЦЬ Станіслав Володимирович – кандидат технічних наук, доцент Сумського державного університету.

Наукові інтереси:

– теорія різання.