

УДК 612.914

В.Є. Юмашев, к.т.н., доц.
О.А. Степчин, інж.

Житомирський державний технологічний університет

ЕЛЕМЕНТИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ І ПАРАМЕТРИ ШАРУ, ЩО ЗРІЗУЄТЬСЯ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ СФЕРИЧНИМИ ФРЕЗАМИ ПРОСТОРОВО-СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ

В статті встановлено теоретичну залежність між елементами процесу різання і параметрами шару металу, що видаляється сферичною фрезою при обробці просторово-складних поверхонь.

Вступ. Обробка матеріалів фрезеруванням налічує в історії свого розвитку кілька століть. Розробка конкретних конструкцій і видів фрезерного інструменту починалася з практичного досвіду та накопичення емпіричних знань, безпосередньо пов'язаних з виробництвом. Надалі ці знання аналізувалися, доповнювалися і узагальнювалися теоретичними дослідниками. Виникали і розвивалися гіпотези, теорії та концепції, які тією чи іншою мірою пояснювали процеси, що протікають у матеріалі інструменту, заготовки і стружки під час фрезерування. До середини двадцятого століття остаточно сформувалися класичні теорії фрезерування основними видами фрез: циліндричними, торцевими, пальцевими (як різновид циліндричного фрезерування), дисковими та ін. Вони всебічно опрацьовані, обґрунтовані та узагальнені [1–6]. Ці теорії дають уявлення про деформаційні, теплові та силові процеси, що протікають при фрезеруванні. Розкривають геометричну і динамічну специфіку цього виду обробки. У них уточнюються визначення понять параметрів зрізаного шару (ширини, товщини, кута контакту та ін.). Розробляється і уточнюється теорія статичної та динамічної геометрії різального клина.

Сферичні пальцеві фрези, як підвид кінцевих фрез з'явився давно. Спочатку вони застосовувалися для обробки канавок, поверхонь переходу, заокруглень, галтелей та ін. У процесі розвитку технологій, металорізального обладнання та інструментальних матеріалів, сферичні пальцеві фрези виділилися в окрему групу інструментів. На їх застосуванні засновані сучасні концепції виготовлення виробів, форм, моделей, прототипів та інструментів у різних галузях промислового виробництва та декоративно-прикладного мистецтва.

Широка потреба цих інструментів у сучасному промисловому виробництві та недостатня вивченість [7–11] зумовлюють необхідність теоретичного і практичного вивчення специфіки їхньої роботи, порівняно з класичними видами фрез.

Мета роботи. Аналіз процесу видалення шару металу сферичною фрезою, при обробці просторово-складної поверхні. Конфігурація зрізаного шару залежно від контуру поверхні, напрямку подачі, варіанта побудови траєкторії і кроку між канавками.

Викладення основного матеріалу. Аналізуючи процес обробки просторово-складної поверхні сферичною фрезою, необхідно розглядати конфігурацію оброблюваної поверхні у двох взаємно перпендикулярних січних площинах. У площині перпендикулярній осі обертання фрези і площині, що проходять через вісь обертання. В обох випадках, лінія перетину січної з поверхнею може бути прямолінійною, опуклою або увігнутою. Процес обробки фрезою кожної з цих ділянок буде мати свої специфічні особливості. Спочатку розглянемо ситуацію в площині перпендикулярній осі фрези при контурному обході.

Позначення на наведених рисунках:

θ – центральний кут фрези, відповідний початку і кінцю робочого циклу зуба фрези (довжині контакту зуба фрези з металом заготовки); R_ϕ – радіус сферичної частини фрези; R_c – радіус заокруглення поверхні заготовки; t – глибина різання; S – напрямок подачі фрези.

Очевидно, що величина кута для різних ділянок контуру відрізняється. Крім цього, необхідно враховувати, що величина центрального кута різна для різних ділянок зрізаного шару металу. Вона буде змінюватися від нуля до максимального значення і знову до нуля. Це зумовлено складною просторовою формою елемента шару, що зрізується одним зубом фрези за робочий цикл.

Тому, попередньо розглянемо умовно максимальну величину центрального кута – θ_m . При фрезеруванні опуклої ділянки θ_m наближено дорівнює (рис. 1):

$$\theta_m = \beta + \gamma. \quad (1)$$

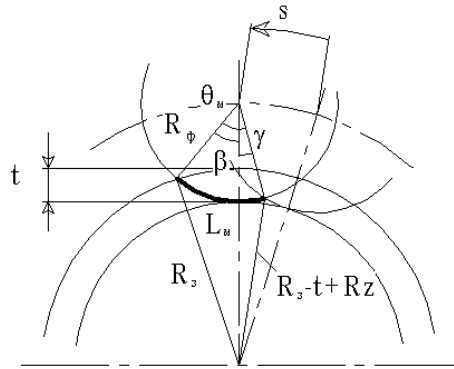


Рис. 1. Розрахункова схема при обробці опуклої ділянки.
(Січна площина перпендикулярна осі фрези)

З розрахункової схеми видно, що величина кута β залежить від радіусів фрези і заготовки та глибини різання. Величина подачі на цей кут не впливає. На кут γ подача впливає опосередковано, через величину теоретичної висоти нерівностей, що залишаються після фрези на обробленій поверхні.

$$\beta = \arccos\left(\frac{R_\phi^2 + (R_\phi + R_s - t)^2 - R_s^2}{2R_\phi(R_\phi + R_s - t)}\right), \tag{2}$$

а

$$\gamma = \arccos\left(\frac{R_\phi - Rz}{R_\phi}\right), \tag{3}$$

де Rz – теоретична висота нерівностей, обумовлена величиною подачі.

$$Rz = \frac{D_\phi}{2} - \sqrt{\frac{D_\phi^2 - S_1^2}{4}} = R_\phi - \sqrt{R_\phi^2 - \frac{S_1^2}{4}}. \tag{4}$$

Для опуклої ділянки S_1 – швидкість обходу (подача) на поверхні обробки буде менша S :

$$S_1 = \frac{S \cdot (R_s - t)}{R_s + R_\phi - t}. \tag{5}$$

Це пов'язане з тим, що величина подачі при фрезеруванні контурної поверхні задається швидкістю переміщення осі фрези при обході контуру. Тому, при обході зовнішньої ділянки контуру (опуклого), швидкість переміщення осі фрези (задана подача) більша за швидкість обходу з якою рухається точка на поверхні фрези. При обході внутрішньої ділянки контуру (увігнутого) швидкість переміщення осі фрези менша за швидкість переміщення точки на поверхні фрези. При фрезеруванні прямолінійної ділянки (рис. 2):

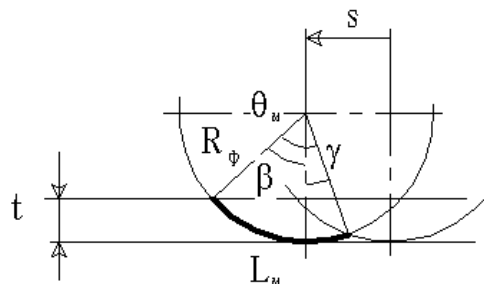
$$\theta_m = \beta + \gamma, \tag{6}$$

де

$$\beta = \arccos\left(\frac{R_\phi - t}{R_\phi}\right), \tag{7}$$

а

$$\gamma = \arccos\left(\frac{R_\phi - Rz}{R_\phi}\right). \tag{8}$$



| R_ϕ/R_s | Форма твірної поверхні | | |
|--------------|------------------------|--------------|----------|
| | опукла | прямолінійна | увігнута |
| 1/5 | 1,85 | 2,02 | 2,23 |
| 1/3 | 1,74 | 2,02 | 2,44 |
| 1/2 | 1,64 | 2,02 | 2,76 |

При розрахунках глибина різання для всіх випадків приймалась $t = 0,5$ мм. Подача постійна і дорівнює 200 мм/хв. З таблиці 1 видно, що якщо відношення R_ϕ/R_s збільшується (ці два значення зближуються), то довжина контакту при обробці опуклого контуру зменшується, а увігнутого – збільшується. У випадку, коли R_ϕ/R_s дорівнює 1/2, L_m по увігнутій поверхні приблизно в 1,7 раза більше, ніж по опуклій. Сегмент шару металу, що зрізається по увігнутій поверхні, більш витягнутий, серпоподібний. Для опуклої поверхні – більш короткий, стислий і нагадує лінзу.

Обсяг металу, який зрізує зуб фрези за робочий цикл залежить від довжини контакту різальної кромки з оброблюваною поверхнею. Тому при збільшенні L_m буде збільшуватися ступінь навантаженості процесу різання. Можливо припустити, що будуть змінюватися сили різання, усадка стружки, а залежно від них точність і шорсткість оброблюваної поверхні.

Розглянемо, процес різання сферичною фрезою в площині, що проходить через вісь фрези. Як і в попередньому випадку можливі три варіанти: профіль деталі опуклий, прямолінійний і увігнутий.

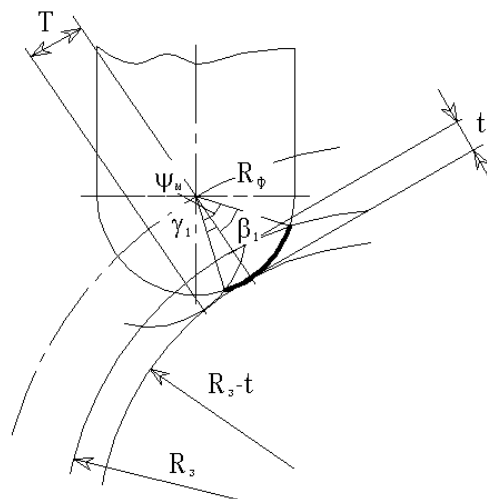


Рис. 4. Розрахункова схема при обробці опуклої ділянки.
(Січна площина проходить через вісь фрези)

Позначення на наведених малюнках:

ψ – центральний кут фрези, відповідний максимальній ширині шару металу, зрізаного зубом фрези;
 R_ϕ – радіус сферичної частини фрези; R_s – радіус заокруглення поверхні заготовки; t – глибина різання; T – крок між рядками. Не важко уявити, що, як і в попередньому випадку, величина кута контакту для різних варіантів поверхні контуру буде, відрізнятися. Тому попередньо розглянемо умовно максимальну величину центрального кута – ψ_m .

При фрезеруванні опуклої ділянки його величину можна визначити за формулами (рис. 4):

$$\psi_m = \beta_1 + \gamma_1, \tag{17}$$

де аналогічно (2), (3):

$$\beta_1 = \arccos\left(\frac{R_\phi^2 + (R_\phi + R_s - t)^2 - R_s^2}{2R_\phi(R_\phi + R_s - t)}\right), \tag{18}$$

а

$$\gamma_1 = \arccos\left(\frac{R_\phi - Rz_1}{R_\phi}\right). \tag{19}$$

При цьому Rz_1 – теоретична висота нерівностей, обумовлена величиною зміщення фрези (кроком між проходами).

$$R_{z_1} = \frac{D_{\delta}}{2} - \sqrt{\frac{D_{\delta}^2 - T^2}{4}} = R_{\delta} - \sqrt{R_{\delta}^2 - \frac{T^2}{4}} \quad (20)$$

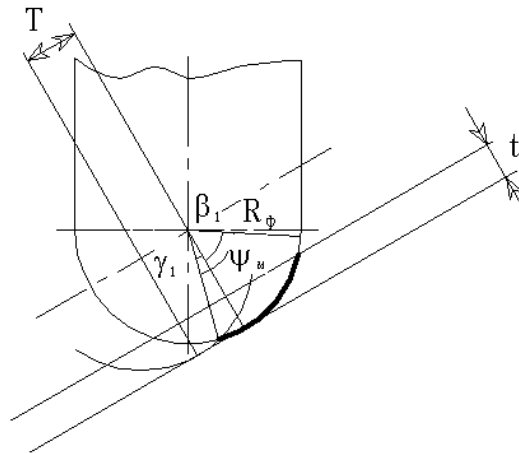


Рис. 5. Розрахункова схема при обробці плоскої ділянки.
(Січна площина проходить через вісь фрези)

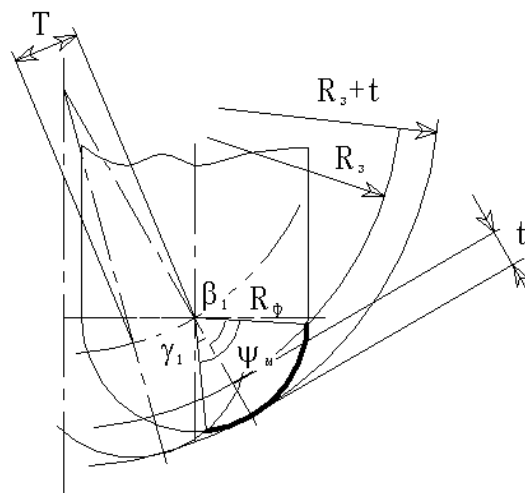


Рис. 6. Розрахункова схема при обробці увігнутої ділянки.
(Січна площина проходить через вісь фрези)

При фрезеруванні прямолінійної ділянки (рис. 5):

$$\psi_m = \beta_1 + \gamma_1, \quad (21)$$

де

$$\beta_1 = \arccos\left(\frac{R_{\phi} - t}{R_{\phi}}\right), \text{ а } \gamma_1 = \arccos\left(\frac{R_{\delta} - R_{z_1}}{R_{\delta}}\right), \quad (22)$$

де R_{z_1} :

$$R_{z_1} = \frac{D_{\delta}}{2} - \sqrt{\frac{D_{\delta}^2 - T^2}{4}} = R_{\delta} - \sqrt{R_{\delta}^2 - \frac{T^2}{4}} \quad (23)$$

При фрезеруванні увігнутої ділянки (рис. 6):

$$\psi_m = \beta_1 + \gamma_1; \quad (24)$$

$$\beta_1 = 180^{\circ} - \alpha, \quad (25)$$

а, в свою чергу,

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R_\phi^2 + (R_3 + t - R_\phi)^2 - R_3^2}{2R_\phi(R_3 + t - R_\phi)}\right). \quad (26)$$

$$\text{Кут } \gamma_1 = \arccos\left(\frac{R_\delta - Rz_1}{R_\delta}\right), \quad (27)$$

де Rz_1 :

$$Rz_1 = \frac{D_\delta}{2} - \sqrt{\frac{D_\delta^2 - T^2}{4}} = R_\delta - \sqrt{R_\delta^2 - \frac{T^2}{4}}. \quad (28)$$

Максимальна довжина контакту леза фрези з оброблюваною поверхнею, аналогічно ситуації, розглянутій в площині перпендикулярній осі фрези:

$$l_m = \frac{2\pi R_\phi \psi_m}{360^\circ}. \quad (29)$$

Співвідношення між довжинами контакту леза фрези з оброблюваною поверхнею в даному випадку приблизно повторюють результати обчислень, представлені в таблиці 1.

Під час обробки просторово-складної поверхні можна зіткнутися з дев'ятьма варіантами форми. Починаючи від двояко опуклої (опуклою в двох взаємно перпендикулярних січних площинах), і закінчуючи двояко увігнутою.

Вочевидь, що варіант подвійної увігнутості оброблюваної поверхні (внутрішня кульоподібна поверхня) буде найбільш важкооброблюваною ділянкою. Зовнішня кульоподібна поверхня (подвійно випукла) буде оброблятися значно легше.

Висновки. З наведених вище розрахунків впливає необхідність корекції швидкості огинання (подачі) під час обробки сферичною фрезою різних ділянок просторово-складної поверхні. Від цього буде залежати можливість отримання однакової шорсткості по всій поверхні обробки.

Наведені формули поки що, не підтвержені практичними даними. Тому в подальшому необхідно провести серію експериментів з обґрунтування теоретичних припущень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Грановский Г.И. Кинематика резания / Г.И. Грановский. – М. : Машгиз, 1948. – 199 с.
2. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов / Н.Н. Зорев. – М. : Машгиз, 1956. – 367 с.
3. Клушин М.И. Резание металлов / М.И. Клушин. – М. : Машгиз, 1958. – 453 с.
4. Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов / А.М. Розенберг, А.Н. Еремин. – М. : Свердловск, Машгиз, 1956. – 318 с.
5. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
6. International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2003. – Vol. 43, № 5 (апрель).
7. Bouzakis K.-D. Определение геометрических параметров стружки, силы резания и шероховатости при чистовом пятикоординатном фрезеровании объемных поверхностей сферическими концевыми фрезами / Bouzakis K.-D. – С. 499–514.
8. Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2000. – Vol. 123, № 2 (май).
9. Imani B. Геометрическое моделирование фрезерования концевыми сферическими фрезами / Imani B. – С. 177–184.
10. Journal of Manufacturing Science and Engineering 2001. – Vol. 123, № 3 (август).
11. Zhu R. Моделирование многокоординатного фрезерования сферическими концевыми фрезами деталей из титановых сплавов / Zhu R. – С. 369–379.
12. International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2003. – Vol. 43, № 5 (апрель).
13. Lazoglu I. Обобщенная модель усилий, возникающих при фрезеровании сложных объемных поверхностей концевыми сферическими фрезами / Lazoglu I. – С. 453–462.
14. International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2004. – Vol. 44, № 2/3 (февраль).
15. Azeem A. Упрощенный способ определения коэффициентов сил резания, возникающих при фрезеровании концевыми сферическими фрезами, путем создания механической модели сил резания / Azeem A. et al. – С. 291–298.
16. International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2004. – Vol. 44, № 1 (январь).

17. *Gusel B.* Повышение производительности фрезерования концевыми сферическими фрезами комплексных поверхностей и выбор оптимальных подача на основе модели действующих сил резания / *Gusel B. et al.* – С. 21–28.

ЮМАШЕВ Володимир Євгенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– робототехніка, верстати з ЧПУ.

СТЕПЧИН Олег Анатолійович – інженер кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– теорія різання, верстати з ЧПУ.

Подано 15.08.2011