

ПРОЦЕС ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ І СТАНУ БАЗОВИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЧАТОЇ РЕЙКИ

д-р техн. наук, проф. О.О. Клочко, НТУ "ХПІ", д-р техн. наук, проф. О.Ю. Заковоротний, м. Харків, д-р техн. наук, проф. О.Є Марков, ДДМА, м. Краматорськ, канд. техн. наук, доц. О.Я. Юрчишин, канд. техн. наук, доц. Н.В. Семінська, НТУУ "КПІ" ім. І. Сикорського, м. Київ

Побудови математичної моделі поверхні зубчатої рейки виникає при описі процесів формоутворення деталей за даними контролю на вимірнувальній машині, при описі поверхневого шару і стану базових поверхонь. Не дивлячись на значні успіхи при розв'язанні цієї задачі, на практиці побудова якісних поверхонь зубчатих рейок, які повинні задовольняти ряду технологічних обмежень, ще далека від оптимальної. Одним з найскладніших факторів при побудові таких математичних моделей є відповідність технологічним обмеженням диференціального типу (неперервність похідних заданих порядків). Тому актуальною є задача побудови і дослідження математичних моделей поверхонь у неявній формі, які точно задовольняють заданим технологічним обмеженням.

Для опису поверхні тіла використовуються:

– явна форма задання поверхні у вигляді

$$z = f(x, y), (x, y) \in D_{xy} \text{ або } y = f(x, z), (x, z) \in D_{xz} \text{ або} \\ x = f(y, z), (y, z) \in D_{yz},$$

де z – комплексний параметр в умовах тертя і зношування; y – комплексний параметр в умовах циклічного навантаження; x – комплексний параметр при підвищеній шорсткості зубів рейок; D_{yz} , D_{xy} , D_{xz} – межа міцності при розтягуванні, стисненні, вигині;

– неявна форма задання поверхні у вигляді

$$F(x, y, z) = 0, (x, y, z) \in D_{xyz};$$

– задання поверхні у вигляді точкового каркасу

$$M_k(x_k, t_k, z_k), k = \overline{1, N},$$

де x_k – середнє арифметичне відхилення профілю; t_k – середній крок нерівностей по вершинах локальних виступів; z_k – висота нерівностей профілю по десяти точках; k – коефіцієнт формування поверхневого шару

при рейкофрезеруванні; I – інтенсивність зносу зубчатих рейок; N – поверхнева мікротвердість;

– параметричне задання поверхні у вигляді

$$x = x(u, v), y = y(u, v), z = z(u, v), (u, v) \in D_{uv}$$

де u – швидкість різання; v – хвилинна подача.

Найчастіше для розв’язання цієї задачі використовується циліндрична система координат

$$x = x(r, \varphi) = r \cos \varphi, \quad y = y(r, \varphi) = r \sin \varphi, \quad z = z, \\ 0 \leq r < \infty, \quad 0 \leq \varphi < 2\pi, \quad -\infty < z < \infty,$$

в даних залежностях прийнято, що на поверхні тіла $r = r(\varphi)$;

– сферична система координат

$$x = x(r, \varphi, \theta) = r \cos \theta \cos \varphi, \quad y = y(r, \varphi, \theta) = r \cos \theta \sin \varphi, \quad z = z(r, \varphi, \theta) = r \sin \theta, \\ 0 \leq r < \infty, \quad 0 \leq \varphi < 2\pi, \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2},$$

де r – радіус скруглення різальної крайки фрези; φ – кут профілю зуба фрези в нормальному перерізі; θ – найбільший кут контакту зуба фрези при зубофрезеруванні.

В даних залежностях приймається, що на поверхні тіла $r = r(\varphi, \theta)$.

Найбільш розповсюдженими засобами цифрового представлення поверхневого шару є растрове представлення та особлива модель просторових даних (DEM), яка апроксимує поверхневий шар багатогранною поверхнею з відліками висот (хвилястості та шорсткості) у вузлах трикутної сітки [1, 2]. Система DEM є загальноприйнятною при описі поверхневого шару на основі даних замірів. Її недолік: на кожній грані багатогранної поверхні аналітична форма поверхні визначається площиною, що проходить через три точки грані.

При механічній обробці зубчатих рейок, як і при зовнішньому терті, в залежності від умов обробки можуть відбуватися різні явища, що впливають на формування поверхневого шару. Відповідно до теорії контактної взаємодії деталей при формоутворенні поверхонь механічним способом, в зоні контакту інструмента із заготовкою в загальному випадку мають місце пружні, пружно-пластичні, і пластичні деформації шарів металу і відносний зсув пластично деформованого поверхневого шару щодо оброблюваної поверхні заготовки. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють визначити оптимальні кути ковзання $\Psi_{ск}$, при яких встановлюється стабільність процесу зубофрезерування, необхідні умови по стійкості інструменту і якості

оброблюваної поверхні по відношенню до найбільшого кута контакту зуба фрези Ψ_{\max} із зубчастим виробом, що обробляється. Співвідношення між кутом ковзання $\Psi_{\text{ск}}$ і найбільшим кутом контакту зуба фрези Ψ_{\max} із зубчастим виробом, що обробляється дозволяє встановити ефективність процесу формоутворення через коефіцієнт $K_{\text{фр}}$ без застосування МОР та із МОР:

$$K_{\text{фр}} = \frac{\sin \Psi_{\max} - \sin \Psi_{\text{ск}}}{\sin \Psi_{\max}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Підставляючи в формулу (1) технологічні параметри обробки, отримаємо зручний для теоретичних і експериментальних досліджень вираз коефіцієнта ефективності формоутворення (4):

$$K_{\text{фр}} = \left(1 - \frac{a \cdot \sin(K_{\text{мор}} \cdot \frac{\rho_i \cdot Z \cdot 10^3 \cdot V}{S_{mi} \cdot \pi \cdot D \cdot \sin \phi})}{a \cdot \sin \frac{2 \cdot \sqrt{H \cdot (D-H)}}{D}} \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

де S_{mi} – хвилинна подача фрези; D – діаметр фрези; ϕ – кут вихідного профілю зуба рейки; ρ – радіус скруглення ріжучої кромки фрези; Z – число зубів фрези; V – швидкість різання; H – висота профіля зуба.

Список літератури: 1. *Пермяков О.А.* Синтез технологічних параметрів високопродуктивної обробки зубчастих рейок спареними фрезами / *О.А. Пермяков, О.О. Клочко, Ю.О. Синица* // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ "ХПІ", 2017. – № 17 (1239). – С. 71-77. 2. *Мироненко Е.В.* Взаимосвязь мощности и крутящего момента при формообразовании зубьев колес и реек / *Е.В. Мироненко, А.А. Клочко* // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2007. – Вып. 22. – С. 30-34.