

УДК 621.92.113

Михайло Пилипець, Павло Босяк

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБТИСКУВАННЯ РІЗИ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

*Проаналізовано різні методи нарізування різей та визначено оптимальні режими формування різі з використанням методу геометричного програмування.*

В робочих органах машин та апаратів, обладнанні та спорядженні широко застосовуються різноманітні різбові з'єднання. Нарізувати різі в таких з'єднаннях можна різними відомими методами. Якщо нарізування зовнішніх різей технологічно просте, то у випадку внутрішніх різьб виникають деякі складності. Можна нарізати внутрішні різьби відомими методами (розточними різцями, мітчиками). Деякі різьби не завжди можливо формувати відомими методами (різьби в тонкостінних деталях, різьби до яких ставляться високі вимоги за міцністю та ін.). Для формоутворення таких різьб запропоновано спосіб прокатування. Цей метод є особливо актуальним для вирішення проблеми підвищення експлуатаційних властивостей цих елементів, зокрема забезпечення точності, міцності, оптимальності геометрії профілю та ін.

Забезпечення перерахованих властивостей з досягненням мінімальної собівартості виготовлення різі — найважливіше завдання, яке вирішується при проектуванні технологічних процесів виготовлення таких деталей.

Одним з резервів зниження собівартості є вибір раціональних параметрів процесу формування різі. У зв'язку з цим актуальними є визначення оптимальних режимів формування різі, що забезпечують для заданих умов обробки і вимог до експлуатаційних властивостей цих елементів мінімальну собівартість.

Одним з найпоширеніших методів оптимізації є метод лінійного програмування [1], що дозволяє здійснювати одночасну оптимізацію швидкості формування і зусилля обтискування з урахуванням обмежень, що діють при формуванні різі, за критерієм мак-

симальної продуктивності. Обов'язковою умовою використання цього методу є можливість лінеаризації функції мети і обмежень. Для лінійної функції мети і лінійних обмежень досить добре розроблений і широко використовується графічний метод пошуку оптимальних параметрів [2], а також запропоновані аналітичні залежності оптимальних режимів формування різи від умов обробки [3]. Незважаючи на простоту і наочність, цей метод не дозволяє вирішувати завдання оптимізації формування різи у разі нелінійної функції мети, якою є собівартість обробки деталей тиском.

Такого недоліку позбавлений метод геометричного програмування (МГП) [4], що знайшов широке застосування для пошуку оптимальних проектних рішень у різних областях інженерних досліджень, але недостатньо поширений в теорії обробки матеріалів тиском [5,6]. У зв'язку з цим представляє інтерес подальший розвиток МГП відносно завдань оптимізації режимів формування різи для різних умов обробки тиском.

Мета даної роботи — визначити оптимальні режими формування різи, з використанням МГП, що забезпечує мінімальну собівартість обробки при заданому рівні забезпечення точності, міцності, оптимальності геометрії профілю та ін.

Основна вимога МГП полягає в тому, що усі компоненти завдання оптимізації мають бути виражені кількісно у вигляді узагальнених позитивних поліномів, які називають позиномами, від керованих параметрів. Можливість використання МГП для оптимізації режимів формування різи зумовлена тим, що функція мети й обмеження можуть бути представлені у вигляді суми компонентів, кожен з яких виражається степеневою функцією:

$$V_i = C_i X_1^{a_{i1}} X_2^{a_{i2}} \dots X_j^{a_{ij}} \dots X_m^{a_{im}} \quad (i = 1 \dots n), \quad (j = 1 \dots m) \quad (1)$$

де  $C_i$  — константа;

$X_j$  — параметри, що оптимізуються;

$a_{ij}$  — довільні дійсні числа;

$n$  — кількість компонентів;

$m$  — кількість параметрів.

Відповідно до МГП завдання оптимізації можна сформулювати таким чином:

$$\text{мінімізувати } g(x) = \sum C_i \prod_j X_j^{\alpha_{ij}},$$

при обмеженнях  $X_j > 0, C_i > 0$ .

Тут  $g(x)$  — пряма функція.

На відміну від інших методів оптимізації в МПІ спочатку знаходять екстремум функції мети і відносний вклад кожної компоненти в його значення, а потім — оптимальні значення змінних параметрів.

У даній роботі як критерій оптимізації приймаємо змінну частину собівартості формування різі обтискуванням за один прохід залежно від параметрів оброблення:

$$C_{\text{впр}} = At_0 + At_3 t_0 / T + A_i t_0 / T. \quad (2)$$

де  $A$  — собівартість штампо-хвилини,  $A_i$  — вартість одного періоду стійкості обтискувальної матриці;  $t_0$  — основний час обтискування;  $t_3$  — час зміни матриці;  $T$  — стійкість матриці.

Цільова функція, що виражає залежність змінної частини собівартості від режимів формування, з урахуванням відомих співвідношень основного часу формування і стійкості матриці з режимами, має вигляд

$$C = A \frac{\pi D L \Delta}{1000 V F t} + At_3 \frac{\pi D L \Delta}{1000 C_T} V^{\frac{1}{m}-1} F^{\frac{x}{m}-1} + A_i \frac{\pi D L \Delta}{1000 C_T} V^{\frac{1}{m}-1} F^{\frac{x}{m}-1}, \quad (3)$$

де  $D, L$  — діаметр і довжина різі;  $\Delta$  глибина обтискування;  $V$  — швидкість штампування;  $F$  — зусилля обтискання;  $C_T$  — коефіцієнт і  $x, m$  — показники, що характеризують міру впливу зусилля обтискання і стійкості на швидкість формування  $V$ , що визначається залежно від умов обробки.

У даній роботі вирішується завдання двопараметричної оптимізації, тобто завдання визначення оптимальних значень швидкості формування і зусилля при заданій глибині обтискування в умовах однопрохідної обробки.

Тоді функцію мети можна записати таким чином:

$$C = C_{01} V^{-1} F^{-1} + C_{02} V^{k_V} F^{k_S}, \quad (4)$$

де коефіцієнти

$$C_{01} = A \frac{\pi DL}{1000}; C_{02} = (At_3 + A_i) \frac{\pi DL}{1000C_T} \Delta^{\frac{x}{m}}; k_v = 1/m - 1; k_f = x/m - 1$$

Математичну модель задачі оптимізації швидкості формування і зусилля при формуванні різи запишемо таким чином: пряма задача МПП — мінімізувати

$$g(V, F) = C_{01}V^{-1}F^{-1} + C_{02}V^{k_v}F^{k_f} \tag{5}$$

при обмеженнях  $V > 0, F > 0, C_{01} > 0, C_{02} > 0$

Особливістю МПП є можливість вже на першому етапі розв’язування оцінити вклад кожної складової функції мети в загальну собівартість (4).

Прийнявши вагу першої складової, пов’язаної з безпосереднім обтискуванням —  $W_{01}$ , а вагу складової, пов’язаної зі зміною інструменту —  $W_{02}$ , обчислюємо екстремум функції мети, для чого розраховуємо максимум. На підставі знайденого екстремуму функції мети складаємо систему лінійних рівнянь для визначення оптимальних режимів формування різи:

$$\begin{aligned} V(W)W_{01} &= C_{01}V^{-1}F^{-1}; \\ V(W)W_{02} &= C_{02}V^{k_v}F^{k_f}. \end{aligned} \tag{6}$$

У результаті розв’язання цієї системи визначаємо оптимальні зусилля  $F_0$  і швидкість обтискування  $V_0$ :

$$F_0 = \left( \frac{W_{01}^{k_v} W_{02} V(W)^{k_v+1}}{C_{01}^{k_v} C_{02}} \right)^{1/(k_f - k_v)}; V_0 = \left( \frac{W_{01}^{k_f} W_{02} V(W)^{k_f+1}}{C_{01}^{k_f} C_{02}} \right)^{1/(k_v - k_f)} \tag{7}$$

Приклади визначення оптимальних режимів різання, що забезпечують мінімальну собівартість, наведені для формування різи (зовнішня різь на трубній заготовці) діаметром  $D = 70$ мм, завдовжки  $L = 50$ мм із сталі 45 на пресі гідравлічному мод. ДБ2432А. Для цих умов прийнято: собівартість пресо-хвилини  $A = 0,5$  коп/хв, час зміни інструменту  $t_c = 3$ хв. Коефіцієнти і показники, які характеризують міру впливу зусилля на швидкість формування:  $C_v = 150, x_v = 0,15; m = 0,4$ . Тоді  $C_T = 525-1010, k_v = 4, k_f = 0,75$  [7].

Розрахункові значення коефіцієнтів  $C_{01} = 392,7; C_{02} = 1,257$ . Вагові коефіцієнти, визначені у відповідності з формулою (6), рівні:  $W_{01} = 0,752; W_{02} = 0,248$ .

Оптимальні значення зусилля і швидкості формування різі, розраховані у відповідності з формулами (7), рівні:  $F_o = 1056$  Н,  $V_o = 2$  м/хв.

З аналізу встановлених закономірностей зміни оптимальних режимів випливає, що їх використання при мінімальній собівартості обробки забезпечуватиме вищу продуктивність.

Наявність аналітичних залежностей для визначення оптимальних режимів формування різі істотно спрощує розробку рекомендацій з вибору раціональних умов обробки, що особливо актуально при формуванні різі на тонкостінних трубних заготовках.

Таким чином, представлена методика дозволяє для будь-яких умов формування різі пресуванням виконувати розрахунки оптимальних режимів, що забезпечують мінімальну собівартість обробки.

**Висновки.** З використанням МГП аналітично визначені оптимальні режими формування різі, що забезпечує мінімальну собівартість обробки при заданих вимогах.

На підставі розробленої методики встановлено закономірності зміни оптимальних значень зусилля і швидкості формування різі.

Розроблена методика визначення оптимальних режимів обтискування може бути широко використана для будь-яких видів формування різі на тонкостінних деталях.

### Література

1. Самарский А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов — 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001.
2. Саати Т. Л. Математические методы исследования операций / Т. Л. Саати — М.: Воениздат, 1963.
3. Вентцель Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель — М.: Сов. радио, 1972.
4. Наконечний С.І. Математичне програмування: Навч. посіб. / С. І. Наконечний, С. С. Савіна — К.: КНЕУ, 2003. — 452 с.

5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский — 6-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, Ленингр. от., 1979. — 520 с.
6. Попов Е. А. Технология и автоматизация листовой штамповки: Учебник для вузов / Е. А. Попов, В. Г. Ковалев, И. Н. Шубин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 480 с.
7. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. / Под ред. А. Д. Матвеева. — Т. 4 Листовая штамповка. — М.: Машиностроение, 1985–1987. — 544 с.

**Mykhaylo Pylypets, Pavlo Bosyuk**

**OPTIMIZATION OF SCREW-THREAD WRINGING  
REGIMES BY THE GEOMETRIC PROGRAMMING METHOD**

*Different methods used to wring out a screw-thread are analyzed and optimal regimes of thread formation are determined with use of the geometrical programming method.*