

УДК 621.777

В. О. Краєвський, асп.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПІД ЧАС ХОЛОДНОГО ТОРЦЕВОГО РОЗКОЧУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИМ ВАЛКОМ

Вступ

Вагоме місце серед процесів пластичного формоутворення займають процеси холодного торцевого розкочування (ХТР), що є різновидом штампування обкочуванням [1]. Перевагами ХТР є досить широкі можливості формоутворення заготовок, що обумовлено значним спектром кінематичних параметрів деформування та достатньо високою жорсткістю інструментальної оснастки. Але широке застосування ХТР стримується недостатнім вивченням впливу технологічних параметрів на протікання процесу обкочування. Зокрема напрям течії металу під час ХТР визначали здебільшого експериментальним шляхом для кожного розроблювального процесу. При цьому управління напрямом течії здійснювалось лише в одиничних випадках [2, 3]. Розкочування заготовок циліндричним валком має менші технологічні можливості, ніж конічним. Проте дані процеси значно легше здійснити на наявних установках для радіального розкочування, накочування різі тощо. Крім того вони виявляють кращу стабільність при формуванні складнопрофільних заготовок [4].

Постановка задачі

Метою роботи є створення математичної моделі формоутворення під час холодного торцевого розкочування циліндричним валком, що дозволить цілеспрямовано змінювати параметри процесу, а, отже, розширить межі його застосування.

Основна частина

Напрямок течії металу визначається силою тертя ковзання, що виникає у плямі контакту інструмента та заготовки. Радіальна складова сили тертя ковзання у свою чергу викликана різною направленістю векторів швидкості заготовки та інструмента. Отже задача визначення напрямку і інтенсивності течії металу зводиться до пошуку кута ψ між векторами швидкості заготовки та інструмента у плямі контакту. Для встановлення залежності кута ψ від зміщення інструмента по відношенню до осей заготовки δ (рис. 1), подачі h та радіуса валка інструмента R_g скористаємось апаратом аналітичної геометрії.

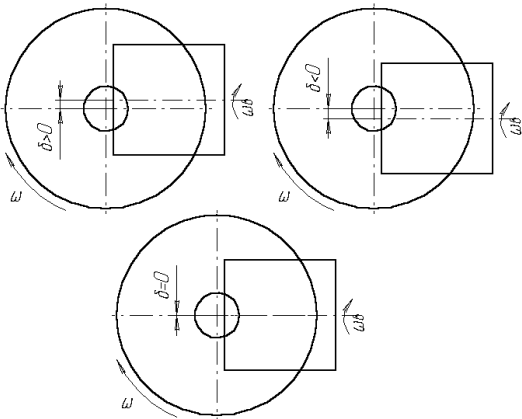


Рис. 1. Визначення зміщення δ валка по відношенню до осей заготовки

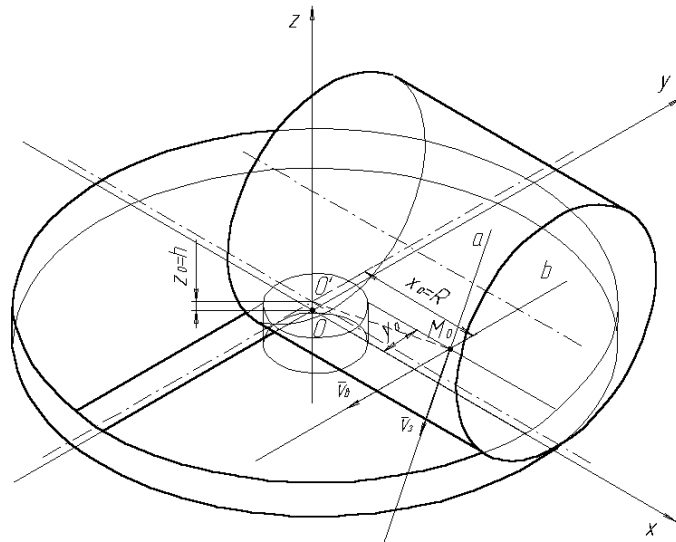


Рис. 2. Розрахункова схема

Прийmemo декартову систему координат, площина xOy якої збігається із площиною здеформованої заготовки (рис. 2), а початок координат лежить на осі обертання заготовки. У прийнятій системі координат поверхня інструмента (циліндричного валка) запишеться у вигляді

$$F(x, y, z) = (y - \delta)^2 + (z - R_g)^2 - R_g^2 = 0. \quad (1)$$

Знайдемо лінію початку контакту інструмента та заготовки. При подачі h це є перетин площини $z = h$ із поверхнею інструмента (1):

$$\begin{cases} (y - \delta)^2 + (z - R_g)^2 - R_g^2 = 0 \\ z = h \end{cases} \Rightarrow y(R_g, h, \delta) = \sqrt{R_g^2 - (h - R_g)^2} + \delta. \quad (2)$$

Отже лінією початку контакту є пряма, що паралельна осі Ox . Визначимо взаємне розташування векторів швидкостей заготовки та інструмента точки $M_0(x_0, y_0, z_0)$, що лежить на лінії початку контакту $y_0 = y(R_g, h, \delta)$ на відстані $x_0 = R$ від осі обертання заготовки ($z_0 = h$).

Будь-яка точка заготовки здійснює обертальний рух навколо осі Oz . Вектор швидкості при цьому лежить на прямій a , що перпендикулярна до радіуса обертання. Якщо розглянути т. M_0 заготовки, то її вектор швидкості перпендикулярний до прямої $O'M_0$. Тоді рівняння прямої a у площині $z = z_0$ матиме вигляд

$$y = -\frac{x_0}{y_0} \cdot (x - x_0) + y_0. \quad (3)$$

Інструмент здійснює обертальний рух навколо своєї осі. Пряма b , на якій лежить вектор швидкості т. M_0 інструмента, є перетином площини, що дотична до поверхні інструмента у т. M_0 , із площиною, що перпендикулярна до осі обертання і проходить через т. M_0 . Знайдемо рівняння цих площин.

Нормальний вектор площини, що дотична до поверхні циліндра у т. $M_0(x_0, y_0, z_0)$

$$\vec{n}_1 \left(\frac{\partial F}{\partial x}; \frac{\partial F}{\partial y}; \frac{\partial F}{\partial z} \right), \quad (4)$$

де $\frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial y}, \frac{\partial F}{\partial z}$ — частинні похідні від (1) по x, y, z відповідно.

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial y} = 2(y - \delta); \quad \frac{\partial F}{\partial z} = 2(z - R_g).$$

Нормальний вектор площини, у якій лежить переріз, що перпендикулярний до осі обертання циліндра, має координати

$$\vec{n}_2(1; 0; 0). \tag{5}$$

Враховуючи, що пряма b утворюється перетином площин (4) та (5), тоді напрямний вектор прямої

$$\vec{s}(l; m; n) = \vec{n}_1 \times \vec{n}_2;$$

$$\vec{s} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial F}{\partial x} & \frac{\partial F}{\partial y} & \frac{\partial F}{\partial z} \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \vec{i} \cdot \begin{vmatrix} \frac{\partial F}{\partial y} & \frac{\partial F}{\partial z} \\ 0 & 0 \end{vmatrix} - \vec{j} \cdot \begin{vmatrix} \frac{\partial F}{\partial x} & \frac{\partial F}{\partial z} \\ 1 & 0 \end{vmatrix} + \vec{k} \cdot \begin{vmatrix} \frac{\partial F}{\partial x} & \frac{\partial F}{\partial y} \\ 1 & 0 \end{vmatrix};$$

$$\begin{cases} l = 0; \\ m = \frac{\partial F}{\partial z}; \\ n = -\frac{\partial F}{\partial y}. \end{cases} \tag{6}$$

Знайдемо проекцію прямої b на площину $z = z_0$. Проекцією прямої b на площину $z = z_0$ є перетин площини Ω , яка перпендикулярна до площини $z = z_0$ і містить пряму b , із площиною $z = z_0$.

Нормальний вектор площини $z = z_0$ $\vec{n}_3(0; 0; 1)$ лежить у площині Ω . Направний вектор прямої b $\vec{s}(l; m; n)$ також лежить у площині Ω . Площина Ω проходить через точку $M_0(x_0, y_0, z_0)$.

Так як вектори $\vec{n}_3, \vec{s}, \vec{M_0M}$ компланарні, тоді рівняння площини Ω запишемо

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ l & m & n \\ x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \end{vmatrix} = 0; \tag{7}$$

$$l(y - y_0) - m(x - x_0) = 0. \tag{8}$$

Отже проекція вектора швидкості точки циліндра на площину $z = z_0$ визначається за формулою

$$y = \frac{m}{l}(x - x_0) + y_0. \tag{9}$$

Кут між векторами швидкості інструмента та заготовки у плямі контакту

$$\psi = \arctg\left(\frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 k_2}\right), \tag{10}$$

де $k_1 = -\frac{x_0}{y_0}$, $k_2 = \frac{m}{l}$ — кутові коефіцієнти проекцій прямих, на яких лежать вектори швидкостей інструмента та заготовки, на площину $z = z_0$. Так як $k_2 \rightarrow \infty$ (тобто проекція прямої, на якій лежить вектор швидкості точки M_0 інструмента, на площину $z = z_0$ паралельна осі Oy прийнятої системи координат) маємо

$$\psi = \lim_{k_2 \rightarrow \infty} \arctg\left(\frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 \cdot k_2}\right) = \arctg\left(\frac{1}{k_1}\right);$$

$$\psi = \arctg \left(-\frac{\sqrt{R_0^2 - (h - R_0)^2} + \delta}{R} \right) \quad (11)$$

Результати розрахунків за формулами (2), (3) та (9) показано на рис. 3.

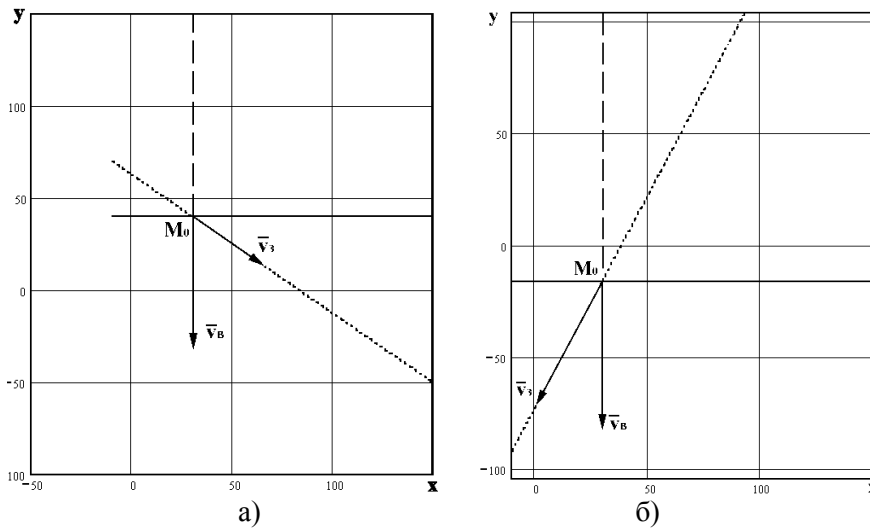


Рис. 3. Проекції прямих, на яких лежать вектори швидкостей інструмента (штрихова лінія) та заготовки (пунктирна лінія), на площину $z = z_0$ при додатному (а) та від'ємному (б) зміщенні δ (суцільна лінія — лінія початку контакту)

Залежність кута ψ між проекціями прямих, на яких лежать вектори швидкостей інструмента та заготовки, на площину $z = z_0$, від параметрів процесу розкочування, що розрахована за формулою (11), показано на рис. 4.

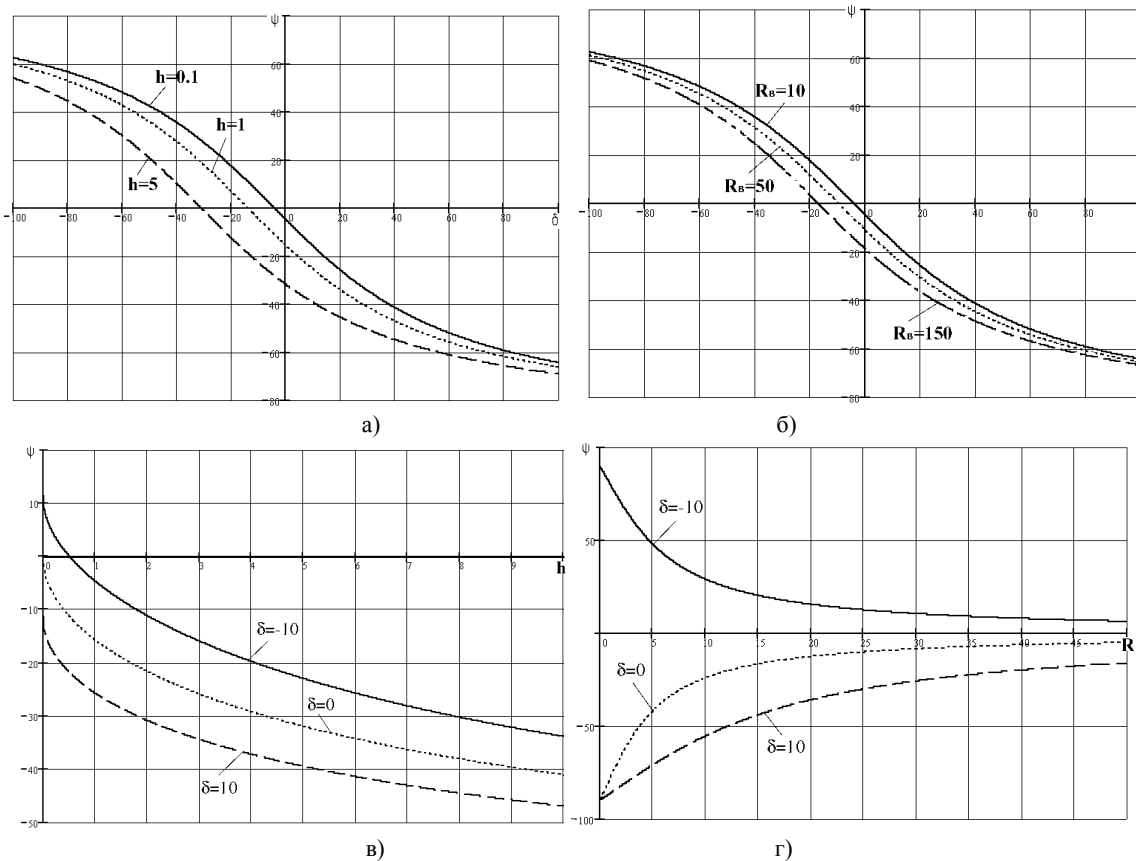


Рис. 4. Залежність кута ψ від технологічних параметрів процесу холодного торцевого розкочування циліндричним валком розрахована за формулою (11)

Аналіз отриманої залежності показує, що напрямок течії металу однозначно визначається зміщенням валка по відношенню до осей заготовки δ : при додатному зміщенні валка матеріал тече до центру заготовки, а при від'ємному — від центру (рис. 4а,б,в,г). Це підтверджується експериментальними даними. Зміни інтенсивності течії металу під час торцевого розкочування циліндричним валком можна досягти варіюванням величин подачі та радіуса валка.

Залежність (11) дозволяє цілеспрямовано управляти напрямком течії металу. Зокрема на рис. 4в показано розподілення кута ψ по дузі контакту, з якого видно, що при від'ємному зміщенні δ можна досягти такого стану, при якому частки металу рухаються у радіальному напрямку, як від центру, так і до центру заготовки в залежності від висоти z контакту валка із заготовкою. Це дало змогу одночасно із висадкою розвинутих фланців здійснювати формування циліндричних тонкостінних виступів необхідної висоти і товщини у складнопрофільних заготовках (рис. 5).



Рис. 5. Деталі, що виготовлені холодним торцевим розкочуванням циліндричним валком

Висновки

Створено математичну модель формоутворення під час холодного торцевого розкочування циліндричним валком. Зроблено аналіз отриманої моделі та порівняння її із наявними експериментальними даними. На базі отриманої моделі розроблено технологічний процес холодного торцевого розкочування циліндричним валком, у якому одночасно із висадкою розвинутих фланців здійснювали формування циліндричних тонкостінних виступів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богоявленский К. Н., Елкин Н. М. Холодная раскатка заготовок сложного профиля // Кузнечно-штамповочное производство. — 1986. — № 7. — С. 22—25.
2. А. С. 1493359 СССР, МКЧ В 21 D 53/00 Способ получения колец из трубной заготовки / Матвийчук В. А., Корнет И. Ф., Нагайчук В. Г. Оpubл. бюл. № 26. 15.07. 1989.
3. А. С. 1183245 СССР, МКЧ В 21 D 37/12; В 21 Н 1/06. Способ изготовления плоских круглых изделий / Богоявленский К. Н., Матвийчук В. А., Ёлкин Н. М. и др. Оpubл. бюл. № 37. 07.10. 1985
4. Матвийчук В. А., Старцев С. Н. Оценка деформируемости и качества металлов при изготовлении сложнопрофильных деталей комбинированной торцевой раскаткой // Электронная техника. — 1989. — Сер. 4. — Вып. 1 (124). — С. 61—65.

Рекомендована кафедрою прикладної математики

Надійшла до редакції 15.05.03
Рекомендована до друку 23.06.03

Краєвський Володимир Олександрович — аспірант кафедри прикладної математики.
Вінницький національний технічний університет