

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ КОНУСІВ

Розглянуто процес штампування тонкостінних конусів. Характерною його ознакою є наявність високих контактних тисків, які суттєво впливають на міцність інструмента та точність деталей. Найбільш доцільним в цьому випадку є використання технології штампування з крученням. Відомі аналітичні рішення для визначення контактних тисків, що можуть бути використані при розрахунках інструменту, досить складні і не дозволяють виконання обчислень. За результатами проведених досліджень отримали нові співвідношення, що дозволяють врахувати вплив параметрів інструмента і режимів деформування на забезпечення заданого рівня напружено-деформованого стану. Порівняння результатів обчислень показало їх задовільну точність.

Ключові слова: штампування з крученням, тонкостінні конуси, режими деформування, епюра контактних тисків.

V.L. MARCHENKO, V.M. TSYMBALIUK
Khmelnytsky National University

DEFINITIONS OF KINEMATIC PARAMETERS OF THIN-WALLED CONES DEFORMATION

The process of punching thin cones is considered. Its characteristic feature is the presence of high contact pressures that significantly affect the strength of instrument and precision of parts. The most appropriate in this case is the use of stamping with twisting technology. Known analytical solutions for the determination of contact pressures that can be used in the calculations of tool, very complex and do not allow explicitly make deformations settings. This causes to the necessity of multiple computing executions. The results of the research have new correlations which allow for the impact of instrument parameters and regimes of deformation to provide a given level of stress-strain state. Comparison of results of calculations revealed satisfactory accuracy.

Keywords: punching with torsion, thin walled cones, modes of deformation, contact pressure diagrams.

Вступ

Існує декілька технологій, які дозволяють отримати деталі у вигляді тонкостінних конусів. Насамперед це обробка деталей різанням, що передбачає значні витрати матеріалу. При цьому продуктивність процесу є досить низька. Більш доцільним є використання технологій обробки металів тиском, наприклад витяжки. Але це можливо для деталей незначної товщини, які можуть бути виготовлені з листової заготовки. При цьому товщина виробу повинна бути однаковою. В інших випадках можуть бути використані методи об'ємного штампування. Використання традиційних методів штампування в даному випадку обмежено. Деформації інструмента близькі до товщини стінки виробу, а значні по величині напруження розтягу, які виникають в матеріалі штампа, призводять до його крихкого руйнування. Основною проблемою в цьому випадку є наявність значних контактних навантажень на формоутворюючу поверхню матриці і пуансона, що вимагає забезпечення міцності інструмента та потужності устаткування.

Постановка задачі

Рішення цих задач звичайними методами штампування з поступальним переміщенням повзуна досить складно, а в деяких випадках практично неможливо. Доцільним є використання технології штампування з крученням, яка суттєво дозволяє знизити силові параметри саме при штампуванні тонких деталей. В даній роботі розглянуто можливість використання цієї технології для отримання тонкостінних конусів достатньої точності. Але відсутність простих інженерних методик їх прогнозування ускладнює управління процесом виготовлення.

Питання може бути поставлене в іншому вигляді: визначити режими деформування (в даному випадку параметри кручення), при яких забезпечується задана точність.

Найбільш ефективним способом рішення задачі є обчислення напружено-деформованого стану інструменту. Для цього доцільно використання чисельних методів розрахунку, серед яких перевагу слід віддати методу скінчених елементів. Необхідною передумовою виконання обчислень є наявність граничних умов.

Попередні дослідження

Відомо кілька робіт, в яких виконано аналітичне моделювання процесу деформування заготовки в кінчній матриці. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану заготовок цього типу виконано в роботі [1]. Розглянуто заготовки постійної товщини без дна. Отримано співвідношення, які дозволяють визначити навантаження на поверхню штампа.

Аналогічні дослідження виконано для тонкостінних деталей змінної товщини, для яких використання методів листового штампування виявляється ускладненим [2]. В роботі розглядається пластична течія металу в тонкому шарі змінної товщини, який обмежений кінчними поверхнями та плоским дном. Автори відмічають, що найбільш важливі результати досягаються при виготовленні особливо

тонких деталей, традиційне штампування яких внаслідок високих тисків на інструмент ($\sigma_n \sim 300 \dots 500$ МПа) в деяких випадках може бути нездійсненним. Зниження навантаження на поверхню штампа при обертанні досягає п'яти і більше разів, що забезпечує навантаження на допустимому за умовами міцності рівні.

Основна частина

Схема заготовки, яка деформується в штампі та прийняті позначення показані на рис. 1. Загальна величина деформації матриці і пуансона не повинна перевищувати допуск на товщину деталі – δ .

Обчислити деформації можна методом скінчених елементів, а контактні навантаження визначити з відомого співвідношення [1]:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_T} = \frac{2\kappa}{(\kappa^2 + q^2)} \left[\kappa \sqrt{(\kappa+1)^2 + q^2} + \frac{q^2}{\sqrt{\kappa^2 + q^2}} \operatorname{Arsh} \frac{\kappa^2 + \kappa + q^2}{q} - \right. \\ \left. - \kappa \sqrt{(\kappa\rho+1)^2 + q^2 \rho^2} - \frac{q^2}{\sqrt{\kappa^2 + q^2}} \operatorname{Arsh} \frac{(\kappa^2 + q^2)\rho^2 + \kappa}{q} \right] - \\ \frac{ctq\alpha}{\sqrt{3}} \left[\frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + q^2}} \left(\operatorname{Arsh} \frac{\kappa^2 + \kappa + q^2}{q} \operatorname{Arsh} \frac{(\kappa^2 + q^2)\rho^2 + \kappa}{q} - \right. \right. \\ \left. \left. - \operatorname{Arsh} \frac{(\kappa^2 + q^2)\rho^2 + \kappa}{q} - \operatorname{Arsh} \frac{\kappa+1}{q} + \operatorname{Arsh} \frac{\kappa\rho+1}{q\rho} + 1 \right) \right], \quad (1)$$

де $\kappa = \frac{L}{\sqrt{3}h}$, (L – довжина конусної частини, h – товщина деталі);

σ_T – границя текучості; q – параметр кручення $q = \frac{\omega R}{\sqrt{3}v}$; ρ – відносний радіус. Відносна

величина тиску σ_n / σ_T , як видно з виразу (1) змінюється в залежності від радіальної координати r_0 , або координати v (рис. 1).

Обчислення можуть бути зведені до мінімуму, якщо будуть забезпечені дві умови: параметр кручення повинен в явному вигляді визначатися через контактне навантаження; напружено-деформований стан матриці і пуансона повинен лінійно залежати від величини контактного навантаження.

З цією метою величини σ_n / σ_T були обчислені для таких значень параметрів: $\kappa = 8; 10; 12; 14; 16; 18$; $q = 1; 10; 20; 30; 50; 100$; $\alpha = 0,26; 0,52; 0,78 \text{ рад}$. За результатами цих обчислень побудовано епюри контактних тисків. Всі графіки близькі до прямих і при $\rho=1$ відносні напруження $\sigma_n / \sigma_T = 1$.

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_T} = \frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} - \left(\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} - 1 \right) \rho = \frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} (1 - \rho) + \rho, \quad (2)$$

де $\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T}$ – величина відносного тиску при $\rho = 0$.

На рисунку 2 показано графіки залежностей $\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} = f(q)$ при різних значеннях κ, α . Кожну з кривих достатньо точно можна описати гіперболою.

$$\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} = \frac{1}{aq + b}. \quad (3)$$

Коефіцієнти a і b , що залежать від κ і α , легко визначити як параметри прямих

$$Y = \frac{\sigma_T^o}{\sigma_n} = aq + b, \quad (4)$$

в які перетворюються гіперболи заміною координати σ_n^o / σ_T на $Y = \sigma_T / \sigma_n^o$ (рис. 3). Параметр a є кутовим коефіцієнтом прямих, параметр b – це ордината точки перетину прямої з віссю Y .

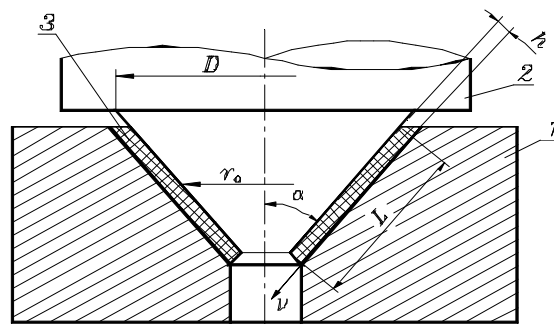


Рис. 1. Схема деформування тонкостінної конічної деталі

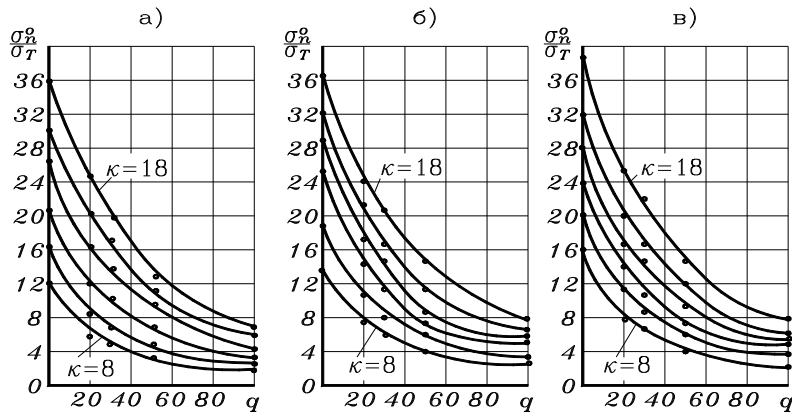


Рис. 2. Графік залежності $\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T^o} = f(q)$:
 а - $\alpha = 0,26$ б - $\alpha = 0,52$; в - $0,78$

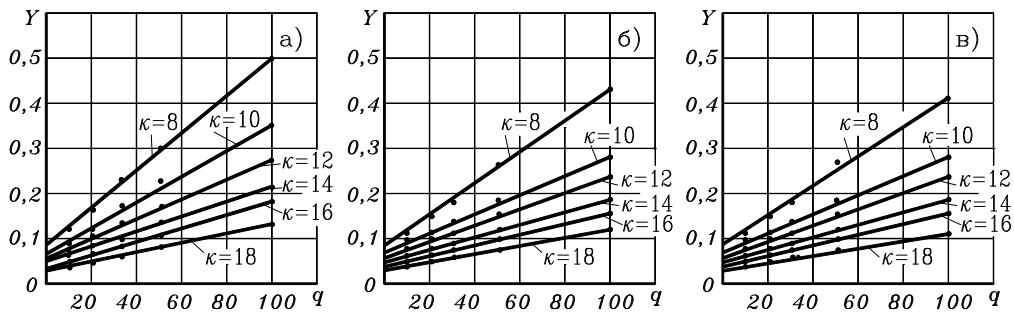


Рис. 3. Графік залежності $Y = f(q)$

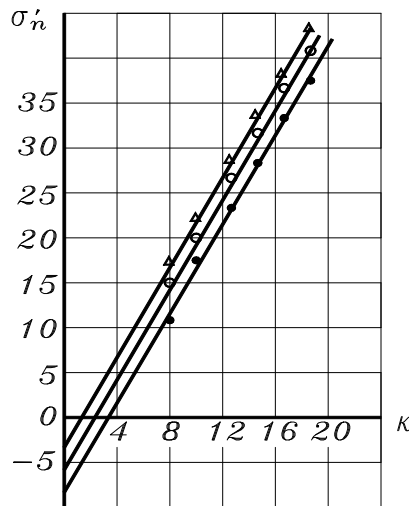


Рис. 4. Графік залежності $\sigma_n = \phi(\kappa)$:
 ● - $\alpha = 0,26$, ° - $\alpha = 0,52$, Δ - $\alpha = 0,78$ (рад.)

З виразу (4) при $q = 0$ одержимо

$$b = \frac{\sigma_T}{\sigma_n^o} = \frac{1}{\sigma_n'} \tag{5}$$

Для вивчення впливу параметра κ на величину контактного тиску розглянемо графіки $\sigma_n' = \phi(\kappa)$, які приведені на рис. 4. Кожний графік відповідає вказаному на рисунку значенню кута α формоутворюючої поверхні.

Наведені графіки близькі до паралельних прямих з кутовим коефіцієнтом $t = 2,5$ і можуть бути апроксимовані рівнянням

$$\sigma'_n = C(\alpha) + t \cdot \kappa. \quad (6)$$

Значення параметра $C(\alpha)$ можна знайти з графіка на рисунку 5, що відповідає випадку $\kappa = 0$.

Рівняння побудованої для трьох значень α прямої має вигляд

$$C = \sigma'_{n(\kappa=0)} = -10 + 7,4\alpha. \quad (7)$$

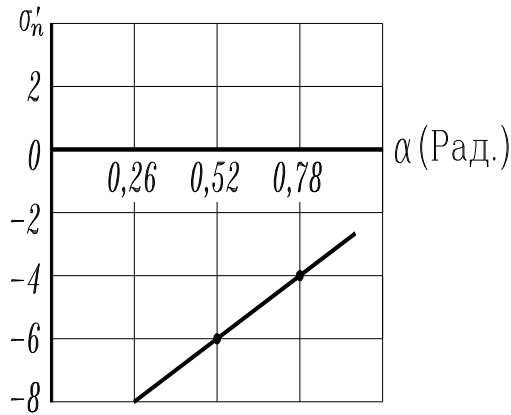


Рис. 5. Залежність $\sigma'_n = f(\alpha)$

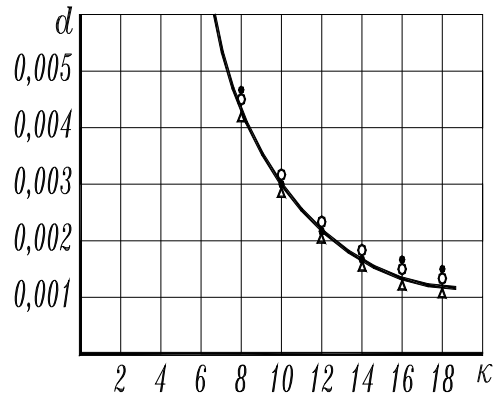


Рис. 6. Залежність $\alpha = f(\kappa)$

• - $\alpha = 0,26$, ◦ - $\alpha = 0,52$, Δ - $\alpha = 0,78$ рад.

Тоді, згідно з (6) $\sigma'_n = -10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa$, а враховуючи (5)

$$b = \frac{1}{-10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa}. \quad (8)$$

Параметр a дорівнює тангенсу кута нахилу прямих на рисунку 4. Аналіз результатів розрахунків показує, що параметр a практично не залежить від величини кута α нахилу формоутворюючої поверхні. Це демонструє рис. 6.

Точки, що відповідають різним значенням кута α , практично лягають на одну криву, яку досить точно можна апроксимувати гіперболою

$$a = \frac{1}{a'\kappa + b'}. \quad (9)$$

Введемо аналогічно попередньому координату $Y' = 1/a$. Тоді рівняння (9) описує пряму

$$Y' = a'\kappa + b', \quad (10)$$

яка показана на рис. 7.

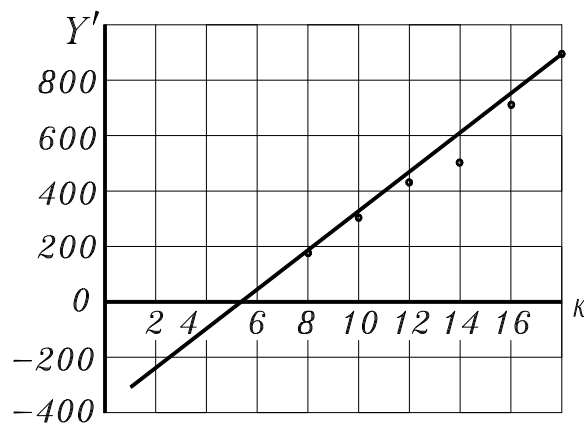


Рис. 7. Графік залежності $Y' = f(\kappa)$

Після визначення параметрів a', b' рівняння цієї прямої набуває вигляду

$$Y' = -360 + 70\kappa, \quad (11)$$

а вираз (9) –

$$a = \frac{1}{-360 + 70\kappa}. \quad (12)$$

Повертаючись до (3), одержимо

$$\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} = \frac{(70\kappa - 360)(-10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa)}{q(-10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa) + (70\kappa - 360)}. \quad (13)$$

Прийmemo позначення:

$$y = -10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa ; \\ z = 70\kappa - 360$$

Тоді

$$\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} = \frac{zy}{qy + z}. \quad (14)$$

Після підстановки цього виразу в (2) остаточно одержимо.

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_T} = \frac{zy}{qy + z}(1 - \rho) + \rho. \quad (15)$$

Вирази (14), (15) дозволяють досить просто проаналізувати вплив різних параметрів на величину контактних тисків.

Наприклад, поставимо задачу визначити величину параметра кручення q' , при якому контактні тиски зменшаться в n разів по відношенню до початкового значення параметра q .

Епюри контактних тисків лінійні. Тому для рішення поставленої задачі достатньо використати формулу (15), на основі якої

$$n = \frac{zy}{qy + z} / \frac{zy}{q'y + z} = \frac{q'y + z}{qy + z}.$$

З цього виразу знаходимо

$$q' = nq + \frac{z}{y}(n - 1).$$

Висновки

В результаті проведеного аналізу впливу кінематичних і геометричних параметрів інструмента на силове навантаження при штампуванні тонкостінних конусів отримано нове аналітичне співвідношення, що дозволяє встановити лінійну залежність контактного навантаження від параметру кручення і значно спрощує розрахунок.

Література

1. Субич В.Н. Пластическое деформирование слоя, ограниченного поверхностями вращения / В.Н. Субич, О.А. Ганаго // Труды МВТУ. Машины и технология обработки металлов давлением. – М. : МВТУ 1980. – № 335. – С. 122–137.
2. Субич В.Н. Пластическое течение в осесимметричном слое переменной толщины / В.Н. Субич, Л.И. Рудман // В сб. Обработка металлов давлением в автомобилестроении. – М. : МАИ. 1984. – С. 45–54.

Рецензія/Peer review : 17.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією