

ІІІ. СТВОРЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРЕСИВНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

УДК 621.73.011

Коцюбівська К.І.

Буренніков Ю.А.

Сивак І.О.

(Вінницький національний технічний університет)

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТА ДЕФОРМУЄМІСТЬ ЗАГОТОВОК ПРИ ПОПЕРЕЧНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ З ПРОТИТИСКОМ

Выполнены исследования напряжённо-деформированного состояния и деформируемости заготовок при радиальном выдавливании фланцев с применением противодавления, создаваемого твёрдой средой.

The state of strain and deformability of workpieces are investigated in the process of radial extrusion of flanges using backpressure created by solid environment.

Вступ

Холодне штампування металів видавлюванням широко використовується у всіх галузях промисловості. Для виготовлення суцільних і порожнистих деталей з фланцями різних товщин і діаметрів в більшості випадків використовують процеси радіального видавлювання. До переваг холодного видавлювання можна віднести високу точність і якість поверхні отриманих заготовок. Крім того, при холодній пластичній деформації відбувається зміцнення деформуємого металу. До факторів, які обмежують поширення холодного радіального видавлювання можна віднести наявність високих питомих зусиль, а також несприятливу схему напруженого стану в області кромки фланця, що обмежує можливості отримання фланців відносно великих розмірів. Аналіз напружено-деформованого стану, кінематики процесу, а також задачі розрахунку енергосилових параметрів процесу радіального видавлювання досліджувались в роботах [1–5]. Вперше теоретичний аналіз видавлювання стержневих заготовок з фланцем з використанням протитиску виконано І.С. Алієвим [6].

Викладення основного матеріалу

В даній роботі виконані дослідження напружено-деформованого стану та деформуємості заготовок при холодному радіальному видавлюванні з протитиском. Схема процесу видавлювання приведена на рис. 1.

Для оцінки впливу основних параметрів процесу радіального видавлювання з протитиском на граничне формозмінення необхідна інформація про вплив цих параметрів на історію навантаження, яка однозначно визначається напружено-деформованим станом та законом його зміни в процесі пластичної деформації [3, 7]. Для розрахунків напружено-деформованого стану при поперечному видавлюванні з протитиском використовували програмний комплекс "FORMING" [8]. В якості вихідних даних в програмі використані крива течії сплаву алюмінію АД1 та технічного свинцю. Криву течії апроксимували функцією, запропонованою Н.А. Шестаковим [8], яка для ізотермічної деформації має вид

$$\sigma_u = Y \left(1 + \frac{\epsilon_u}{b_1} \right)^{m_1} (b_2 + \epsilon_u)^{m_2}, \quad (1)$$

де $Y = \sigma_T A_1 A_2$, σ_T – границя текучості, ϵ_u – ступінь деформації,

$m_1, A_1, m_2, A_2, b_1, b_2$ – коефіцієнти апроксимації, значення яких для більшості матеріалів приведені в [8].

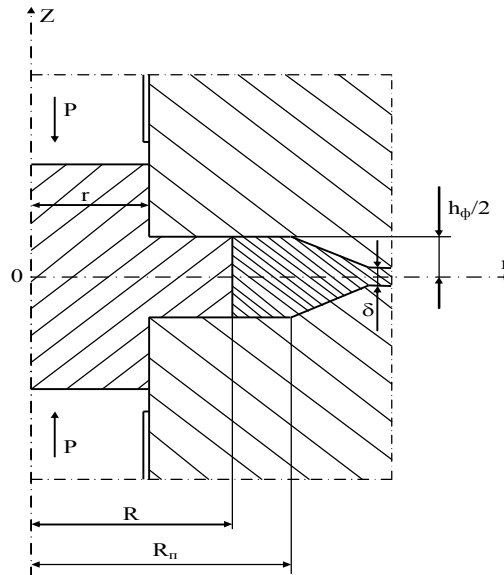


Рис. 1. - Схема радіального видавлювання фланців з використанням протитиску

Нами при виборі коефіцієнтів апроксимації були використані експериментальні криві течії, які отримані в дослідях на осадку суцільних циліндричних зразків та табличні дані, приведені в роботі [8]. В формулі (1) перший множник – коефіцієнт апроксимації, який має розмірність напруження, другий множник описує деформаційне зміцнення, третій множник описує залежність напруження текучості від ступеня деформації. Коефіцієнти b_1 , m_1 , m_2 безрозмірні, а b_2 має розмірність швидкості деформації – c^{-1} . На основі обробки експериментальних даних та використання рекомендацій Н.А. Шестакова [8] були прийняті наступні значення для коефіцієнтів апроксимації:

для сплаву алюмінію АД1 – $\sigma_T=43\text{Н/мм}^2$; $A_1=1,49$; $A_2=0,775$; $b_1=0,01$; $b_2=0,0026c^{-1}$; $\dot{\epsilon}_u=0,001c^{-1}$; $m_1=0,23$; $m_2=0,01$;

для технічного свинцю – $\sigma_T=13,7\text{Н/мм}^2$; $A_1=1,144$; $A_2=0,69$; $b_1=0,01$; $b_2=0,0036c^{-1}$; $\dot{\epsilon}_u=0,001c^{-1}$; $m_1=0,058$; $m_2=0,01$.

В результаті отримали наступні рівняння апроксимації кривих течії для сплаву алюмінію АД1

$$\sigma_u = 47.26 \left(1 + \frac{\epsilon_u}{0.01} \right)^{0.23}, \quad (2)$$

для технічного свинцю

$$\sigma_u = 10.42 \left(1 + \frac{\epsilon_u}{0.01} \right)^{0.058}. \quad (3)$$

Умови тертя на поверхнях контакту інструменту і заготовки задавали по Зібелю [8]

$$\tau_k = m\tau_s (\text{sign}\tau_k = -\text{sign}\Delta V_\tau), \quad (4)$$

де m – фактор тертя ($0 \leq m \leq 1$),

ΔV_τ – швидкість проковзування точок деформованої заготовки відносно штампа та по Кулону

$$\tau_k = \mu\sigma_n \leq \tau_s, \quad (5)$$

де μ – коефіцієнт тертя.

Якщо процес деформації супроводжується різнонаправленим характером течії металу на контактних поверхнях, з метою виключення розриву функції τ_k на границях розділу течії у вирази (4), (5) використовували множник $\frac{2}{\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta V\tau}{c\bar{V}}\right)$. В таких випадках закони тертя використовуються у формі

$$\tau_k = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta V\tau}{c\bar{V}}\right) m\tau_s, \quad (6)$$

$$\tau_k = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta V\tau}{c\bar{V}}\right) \mu\sigma_n \leq \tau_s, \quad (7)$$

де c – константа,

\bar{V} – деяка базова («опорна») швидкість,

$\Delta V\tau$ – швидкість проковзування точок заготовки по поверхні штампа.

Швидкість проковзування $\Delta V\tau$ визначається як різниця дотичних швидкостей відповідних точок штампа і заготовки. Для вибраних позитивних напрямків швидкостей можна записати для контактної точки

$$\Delta V\tau = (V_p \cos \beta + V_z \sin \beta) - V_0 \sin \beta. \quad (8)$$

Нормальні напруження на контактній поверхні визначали через компоненти тензора напружень наступним шляхом

$$\sigma_n = \sigma_p \sin^2 \beta + \sigma_z \cos^2 \beta + \tau_{pz} \sin 2\beta. \quad (9)$$

Програма “FORMING” дозволяє отримати значення любого параметра в будь-якій точці пластичної області, в будь-який момент часу. Тому значення компонентів тензора напружень σ_r , σ_θ , σ_z , τ_{rz} , накопиченої деформації e_u , інтенсивності напружень σ_u , показників η і μ_σ можна використати для побудови траєкторії навантаження довільної точки в координатах η , μ_σ і e_u . Отриманий в результаті розрахунків розподіл накопиченої деформації e_u по меридіональному перерізу заготовки на початку та в кінці процесу видавлювання приведено на рис. 2,3. Із аналізу отриманих результатів випливає, що при радіальному видавлюванні з протитиском найбільші пластичні деформації мають місце в області контакту нижньої поверхні заготовки з матрицею. Але в цій зоні схема напруженого стану набагато «м'якша» ($\eta = -4 \dots -5$, $\mu_\sigma = 0,6 \dots 0,8$) ніж в точках кромки фланцю, де $\eta = -1,2 \dots -1,6$, а $\mu_\sigma = -0,2 \dots 0,2$.

Оцінку використаного ресурсу пластичності виконували за критерієм, заснованим на нелінійному законі накопичення пошкоджень [9]

$$\psi = \int_0^{e_u} n \frac{e_u^{*n-1}}{e_p(\eta, \mu_\sigma)^n} de_u^*, \quad (10)$$

де $e_u = \int_0^t \dot{\epsilon}_u d\tau$ - ступінь деформації,

$\dot{\epsilon}_u$ – інтенсивність швидкостей деформацій,

$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,20 \exp(0,42\mu_\sigma - 0,50\eta)$ - поверхня граничних деформацій для сплаву алюмінію АД1 [9],

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{3\sigma}{\sigma_u} - \text{показник напруженого стану,}$$

$$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} - \text{параметр Надаї-Лоде,}$$

$$n = 1 + a \frac{d\eta}{de_u} - b \frac{d\mu_\sigma}{de_u},$$

a, b – емпіричні коефіцієнти, які для АД1 приймали рівними a = 0,05, b = 0,03.

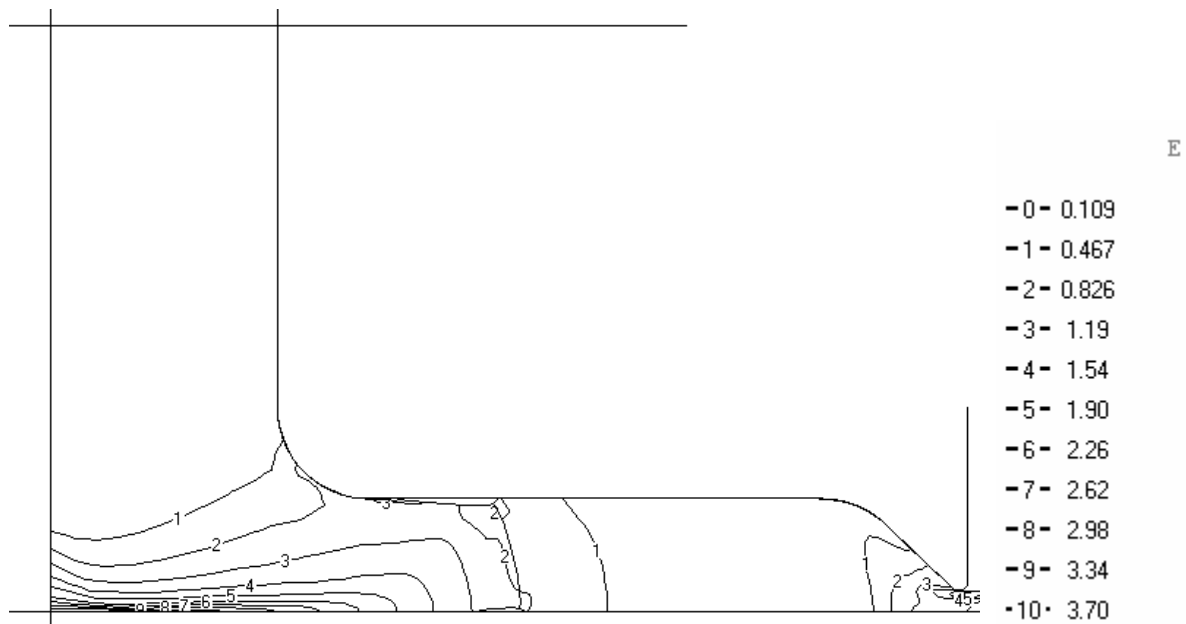


Рис. 2. - Розподіл накопиченої деформації e_u на початку процесу видавлювання

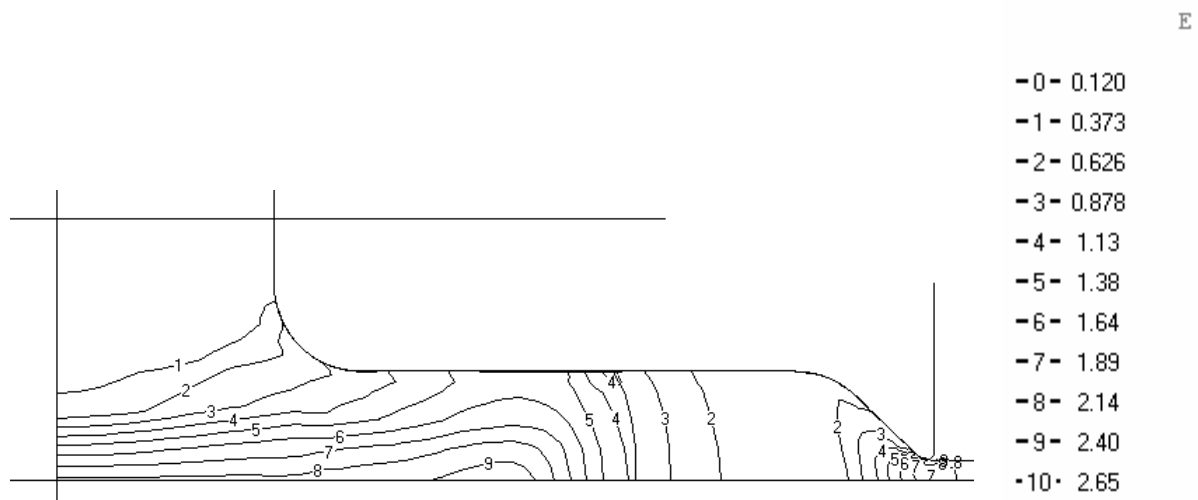


Рис. 3. - Розподіл накопиченої деформації e_u в кінці процесу видавлювання

Аналіз траєкторій навантаження точок пластичної області показав, що найбільш небезпечними, з точки зору руйнування, є точки, які знаходяться на кромці фланця. Використовуючи траєкторії навантаження розраховували величину використаного ресурсу пластичності в цих точках по критерію (10). Результати розрахунків використаного ресурсу пластичності при радіальному видавлюванні стержневих заготовок із сплаву алюмінію АД1 без протитиску ψ_1 та з використанням протитиску ψ_2 приведені в таблиці 1. Значення ψ_1 і ψ_2

в небезпечній точці розраховані для наступних розмірів фланця $\frac{h_\phi}{r} = 0,6$, $\frac{h_\phi}{r} = 1,0$, $\frac{h_\phi}{r} = 1,4$, $\frac{R_n}{r} = 4$ і ширини щілини $\delta=0,8$ мм. Із отриманих результатів випливає, що ефективність протитиску зростає із збільшенням відносної висоти фланця, при інших рівних умовах. При цьому використаний ресурс пластичності при видавлюванні з протитиском зменшується в 2,4...2,7 рази.

Таблиця 1

Використаний ресурс пластичності при радіальному видавлюванні стержневих заготовок без протитиску та з використанням протитиску

Матеріал	$\frac{h_\phi}{r}$	$\frac{R}{r}=1,5$		$\frac{R}{r}=2,0$		$\frac{R}{r}=2,5$	
		Ψ_1	Ψ_2	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_1	Ψ_2
АД 1	0,6	0,26	0,11	0,62	0,25	-	-
	1,0	0,14	0,06	0,34	0,14	0,80	0,33
	1,4	0,08	0,032	0,18	0,08	0,42	0,17

Висновки

Заміна технічного свинцю на матеріал з більшою границею текучості, дозволить значно збільшити величину протитиску і, відповідно, зменшити ψ . Але в таких випадках необхідно використовувати більш складну конструкцію матриці (необхідне бандажування), розраховану на високі тиски та обумовлені ними значні навантаження на інші елементи конструкції пристосування.

Література

1. Овчинников А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
2. Алиев И.С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания // Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. – №6. – С. 1 – 4.
3. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. – К: Вища школа, 1983. – 175 с.
4. Евстратов В.А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. – Харьков: Вища школа, 1987. – 144 с.
5. Алиев И. С., Лобанов А.И., Савченко О.К. Систематизация информации для разработки процессов выдавливания в разъемных матрицах // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2001. – С. 194 – 198.
6. Алиев И.С. Теоретический анализ процесса выдавливания фланцев с противодействием // Физика и техника высоких давлений. – 1990. – Вып. 34. – С. 42 – 46
7. Дель Г.Д. Технологическая механика. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с.
8. Программный комплекс для моделирования двумерных процессов пластического течения при обработке металлов давлением. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки / А.В. Власов, Н.А. Шестаков, В.Н. Субич, В.А.Демин // Министерство образования РФ. -ОФАП. -Номер гос. рег. 50200400053.
9. Сивак И.О., Коцюбовская Е.И. Пластичность металлов при объемном напряжённом состоянии // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич.зб. наук. пр. – Краматорськ – Хмельницький, 2007. – С. 73 – 76.