

УДК 621.983.3.001.1

В. В. Савуляк, асп.

ШТАМПУВАННЯ ГОФРОВАНИХ ЗАГОТОВОК МАЛИХ РАДІУСІВ КРИВИЗНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДПОРУ

В даний час у всьому світі значну увагу приділяють розробленню маловідходних та безвідходних технологій виготовлення деталей з підвищеними технічними та експлуатаційними вимогами до них. До типових деталей, із значно меншою металоємністю виготовлення, можна віднести гофровані вироби (рис.1), які мають значну жорсткість в напрямку гофрів та невисоку металоємність в порівнянні з іншими виробами подібного призначення.

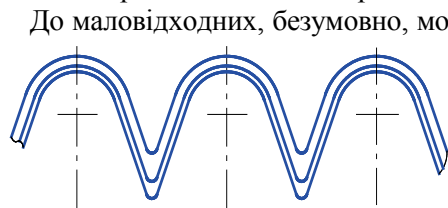


Рис.1. Приклад гофрованої деталі (частина ножа буркорізального)

До маловідходних, безумовно, можна віднести процеси пластичної формозміни. Раніше проведені дослідження показали, що під час штампування тонколистових матеріалів в результаті великих деформацій розтягу заготовка руйнувалася. Аналіз причин виникнення деформацій розтягу під час штампування заготовки показав, що вони виникають через одночасне защемлення листа в кількох місцях, а також малі радіуси кривизни вершин гофрів. Дослідження цього питання представлено в роботі [1]. В роботі [2] запропонована схема накатки роликком відповідної форми кожної окремої гофри. Недоліком цієї схеми є мала продуктивність виготовлення, проте така схема дозволяє уникнути розтягу листа і, як результат, небезпечних напружень розтягу. Досконаліше, з точки зору продуктивності виробництва, вирішення цього питання дано в роботі [3].

В даній роботі запропоновано методику оцінки впливу параметрів штампування (гідростатичний тиск, мінімальний радіус кривизни заготовки) з гідростатичним підпором на інтенсивність накопичення пошкоджень в zdeформовуваному металі.

Для оцінки впливу гідростатичного тиску на пластичність zdeформовуваного металу використано підхід, запропонований в роботі [4], в якій виконані дослідження комплексного впливу гідростатичного тиску та закону його зміни на історію навантаження й обумовлену нею пластичність.

Математична модель процесу базується на диференціальному рівнянні рівноваги (1), умові пластичності Треска-Сен-Венана (2) та умові рівноваги елементарного об'єму (3)

$$\rho \frac{d\sigma_r}{dr} + \sigma_r - \sigma_\theta = 0, \tag{1}$$

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \pm \sigma_u, \tag{2}$$

$$2\sigma_{\theta_{\text{ср}}} s \frac{d\varphi}{2} = \mp \sigma_{\text{інст}} d\varphi r - pRd\varphi, \tag{3}$$

де знак «мінус», в рівняннях (2) і (3), відноситься до зони розтягу в тангенціальному напрямку, а знак «плюс» — до зони стиску; σ_u — інтенсивність напружень; $\sigma_{\theta_{\text{ср}}}$ — середнє тангенціальне напруження; $\sigma_{\text{інст}}$ — напруження на поверхні контакту з інструментом; s — товщина листа; R, r — зовнішній і внутрішній радіуси кривизни заготовки відповідно; p — гідростатичний тиск на поверхні листа; $d\varphi$ — кут виділеної ділянки листа.

Для врахування деформаційного зміцнення матеріалу криву течії апроксимуємо степеневою залежністю

$$\sigma_u = A e_u^n, \tag{4}$$

де $e_u = \ln \rho / \rho_n$ — ступінь деформації (параметр Удквіста), ρ_n — радіус кривизни нейтральної поверхні; A, n — константи матеріалу.

Спільний розв'язок рівняння рівноваги (1) і рівняння пластичності (2) в загальному вигляді має вигляд

$$\sigma_p = \mp \frac{A}{n+1} \left(\ln \frac{\rho}{\rho_H} \right)^{n+1} + C, \tag{5}$$

де C — вільний член інтегрування.

З рівняння (2) інтегруванням та усередненням по товщині листа можна отримати

$$\sigma_{\rho_{\text{сеп}}} - \sigma_{\theta_{\text{сеп}}} = \pm \sigma_{u_{\text{сеп}}}. \tag{6}$$

Оскільки в роботах [5, 6] вказувалось на позитивний вплив гідростатичного тиску, а також виходячи з міркувань про мінімізацію використання ресурсу пластичності, ми розглядатимемо можливість оптимізації параметрів процесу з урахуванням гідростатичного тиску.

Прийmemo, що інтенсивність напружень σ_u та радіальні напруження σ_p змінюються по товщині листа лінійно. Тоді

$$\sigma_{\rho_{\text{сеп}}} = \frac{\sigma_{\text{інст}} + p}{2}, \tag{7}$$

$$\sigma_{u_{\text{сеп}}} = \frac{\sigma_{i_{\text{мін}}} + \sigma_{u_{\text{макс}}}}{2} = \frac{A}{2} \left[\left(\ln \frac{r}{\rho_H} \right)^n + \left(\ln \frac{R}{\rho_H} \right)^n \right]. \tag{8}$$

Із рівнянь (3) і (6) з урахуванням (7) та (8) в результаті перетворень отримаємо систему загальних рівнянь рівноваги (9), в яких врахована дія зовнішнього тиску. Слід відмітити, що ми розглядаємо три випадки розташування нейтральної поверхні: 1) поза зовнішнім радіусом згину листа $\rho_H \geq R$; 2) в середині товщини листа $r \leq \rho_H \leq R$; 3) випадок коли радіус згину листа $\rho_H \leq r$. Для визначення положення нейтральної поверхні в кожному окремому випадку слід скористатись методом послідовних наближень. Проведення попередньої оцінки розташування ρ_H потрібно проводити, застосовуючи формулу (9), у розрахунках слід користуватись формулою $r \leq \rho_H \leq R$.

$$\begin{cases} 0,5 \frac{A}{n+1} \left[\left(\ln \frac{R}{\rho_H} \right)^{n+1} - \left(\ln \frac{r}{\rho_H} \right)^{n+1} \right] \frac{2r-s}{s} + p + \sigma_{u_{\text{сеп}}} = 0, & \text{якщо } \rho_H \geq R; \\ 0,5 \frac{A}{n+1} \left[\left(\ln \frac{R}{\rho_H} \right)^{n+1} - \left(\ln \frac{r}{\rho_H} \right)^{n+1} \right] \frac{2r-s}{s} - 3p + 2\sigma_{u_{\text{сеп}}} = 0, & \text{якщо } r \leq \rho_H \leq R; \\ 0,5 \frac{A}{n+1} \left[\left(\ln \frac{R}{\rho_H} \right)^{n+1} - \left(\ln \frac{r}{\rho_H} \right)^{n+1} \right] \frac{2r-s}{s} + 2p - \sigma_{u_{\text{сеп}}} = 0, & \text{якщо } \rho_H \leq r. \end{cases} \tag{9}$$

Оскільки процес навантаження в небезпечній зоні монотонний і близький до простого, то для визначення використаного ресурсу пластичності застосовували критерій деформованості у вигляді [7]

$$\psi = \int_0^{e_u} \frac{de_i^*}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}, \tag{10}$$

де e_i — ступінь деформації в небезпечній точці за даних умов формозміни; de_u^* — приріст ступеня деформації в небезпечній точці; $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ — значення граничної деформації в небезпечній точці. Використання умови (10) передбачає, що граничне значення використаного ресурсу пластичності фактично не може перевищувати одиниці. Проте в даній роботі для зручності та наочності умовно розглядаються випадки, коли $\psi' > 1$.

Оцінку використаного ресурсу пластичності виконували таким чином. Матеріал заготовки — сталь 10, має поверхню граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$, яка отримана в роботі [8] і описується рівнянням

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = \frac{0,68 \exp(-0,91\eta)}{1 - 0,278\mu_\sigma - 0,072\mu_\sigma^2}, \tag{11}$$

де $\eta = 3\sigma/\sigma_u$ — показник жорсткості напруженого стану, μ_σ — параметр Надаї—Лоде.

За результатами розрахунку для сталі 10 і радіусу кривизни виробу $r = 2$ мм побудовані графіки залежності використаного ресурсу пластичності ψ від товщини листа s та величини гідростатичного тиску p (рис. 2. і рис. 3).

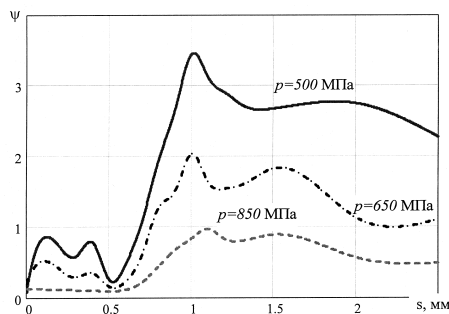


Рис. 2. Залежність використання ресурсу пластичності ψ в небезпечній точці від товщини листа s зі сталим гідростатичним тиском p

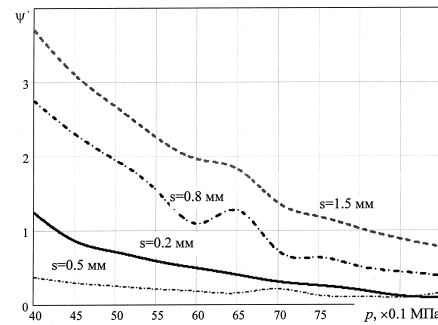


Рис. 3. Залежність використання ресурсу пластичності ψ в небезпечній точці від гідростатичного тиску p зі сталюю товщиною листа s

Як видно з рис. 2 значне зменшення використання ресурсу пластичності відбувається в діапазоні товщини листа 0,3...0,6 мм, що дає можливість рекомендувати використання тонколистових матеріалів з товщиною 0,3...0,6 мм для виготовлення гофрованих заготовок.

Дані (рис. 3) загалом відповідають уявленням про позитивний вплив гідростатичного тиску та можуть слугувати підтвердженням вірогідності розробленої методики розрахунку та даним, отриманим за її допомогою.

Висновки

1. Розроблена методика розрахунку використаного ресурсу пластичності для процесів штампування гофрованих заготовок малих радіусів кривизни з використанням гідростатичного підпору.
2. Для виготовлення гофрованих заготовок з радіусом кривизни вершини гофри ≥ 2 мм з тонколистового матеріалу раціональними є товщини листа 0,3...0,6 мм та гідростатичний тиск 450...600 МПа.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. — М.: Машиностроение, 1977. — 278 с.
2. Сивак И. О., Савуляк В. В. Получение гофрированных заготовок методами локальной пластической деформации // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. — Краматорськ: ДДМА. — 2003. — С. 392—394.
3. А. с. СРСР № 502680. Штмп для изготовления гофрированной ленты / Бюл. изобр. — 1976. — № 6.
4. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. — К.: Вища школа. — 1983. — С. 175.
5. Чумадин А. С., Ершов В. И., Зияя Д. Влияние гидростатического давления на предельные возможности деформирования при листовой штамповке // КШП. — 1990. — № 9. — С. 21 — 24.
6. M. J. Zehetbauer, H. P. Stuwe, A. Vorhauer, E. Schaffer and J. Kohout. The role of hydrostatic pressure in severe plastic deformation // ADVENGMAT. — 2003. — Vol. 5. — № 5. — P. 330—336.
7. Сивак И. О. Пластичность металлов при холодной пластической деформации // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. — Краматорськ—Слов'янськ: ДДМА. — 2000. — С. 168—171.
8. Сивак И. О., Сивак Р. И., Алиев И. С. Деформируемость заготовок при радиальном выдавливании с контурной осадкой // Механика твердого деформируемого тела и обработка металлов давлением. — Тула: Тульский государственный университет. — 2000. — С. 278—284.

Рекомендована кафедрою технології та автоматизації машинобудування

Надійшла до редакції 6.07.04
Рекомендована до друку 19.10.04

Савуляк Віктор Валерійович — аспірант кафедри технології та автоматизації машинобудування. Вінницький національний технічний університет