

УДК 621.73.06-52

Калюжний В. Л.  
Сабол С. Ф.  
Калюжний О. В.  
Піманов В. В.

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШТАМПУ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ З РОЗТЯГОМ СТАЛЕВИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ

Холодне видавлювання порожнистих виробів – ресурсозберігаючий та високопродуктивний процес металообробки. Однак високі питомі зусилля, які необхідні для здійснення цього процесу приводять до зниження стійкості інструменту, а подекуди, до неможливості застосування холодного видавлювання для отримання порожнистих деталей із сталей.

В теперішній час існує кілька способів створення додаткових розтягуючих напружень в осередку деформації заготовки, а також способів які мінімізують вплив сил тертя при холодній формозміні.

Відомий спосіб [1] зворотнього видавлювання з «плаваючою» матрицею, при якому в процесі деформування матриця переміщується разом із стінкою деталі що деформується, при цьому спостерігається зниження питомих зусиль процесу на 10 відсотків.

Запропоновано спосіб «диференційного видавлювання» [2], при якому розтягуючі напруження створюються шляхом узгодженого переміщення пуансона та виштовхувача в одному напрямку. Сила тертя яка виникає при цьому на бічній поверхні заготовки та контейнера, викликає розтягуючі напруження в стінці деталі. Зусилля деформування знижувались при цьому до 20 відсотків. Широке застосування знайшов спосіб холодного видавлювання порожнистих виробів з активними силами тертя [3]. В цьому випадку, завдяки примусовому руху контейнера зі швидкістю більшою від швидкості витікання деформованого металу в стінку, забезпечувалась стиснуто-розтягнута схема напружень силами тертя між поверхнею заготовки та рухомих контейнером. Зменшення питомого зусилля деформації при цьому становило 20 відсотків.

Однак найбільш ефективний спосіб створення розтягуючих напружень запропоновано в роботі [4], при якому напруження розтягу створювались шляхом безпосередньої дії рухомого контейнера (матриці) на стінку деталі за допомогою зчеплення з буртом, виконаним на стінці виробу.

Здійснення вказаних процесів вимагає застосування додаткових пристроїв та приводів, що ускладнює та здорожує реалізацію процесів холодного видавлювання з розтягом порожнистих виробів. Авторами було запропоновано конструкції штампів, які відрізняються від існуючих використанням рідини високого тиску, яка дає можливість регулювати швидкість контейнера, що дозволяє отримувати порожнини постійного діаметру та ступінчасті порожнини.

Метою роботи є зниження зусиль і питомих зусиль процесу за рахунок створення стиснуто-розтягнутої схеми напружень в осередку деформації, взамін схеми всебічного стискання, шляхом накладання додаткових розтягуючих напружень на заготовку що деформується.

На рис. 1 наведена схема штампів для видавлювання з розтягом виробів з порожниною постійного діаметра. Штмп містить рухомий в осьовому напрямку контейнер 1, який встановлений на опорі 2 з ущільненням 3, що забезпечують витрати робочої рідини. На опорі

встановлений виштовхувач 4, який приводиться в дію штовхачем 5. На виштовхувач встановлюється заготовка 9 з попередньо виготовленим буртом. В резервуар 10 заливається робоча рідина, яка з порожнини 6 вільно проходить в порожнину 8 через отвори 7. В вихідному стані перед видавлюванням, коли плунжер 12 з ущільненням 13 і пуансоном 11 заходить в контейнер 1, між торцем пуансона 11 і заготовкою 9 є зазор для стискання робочої рідини.

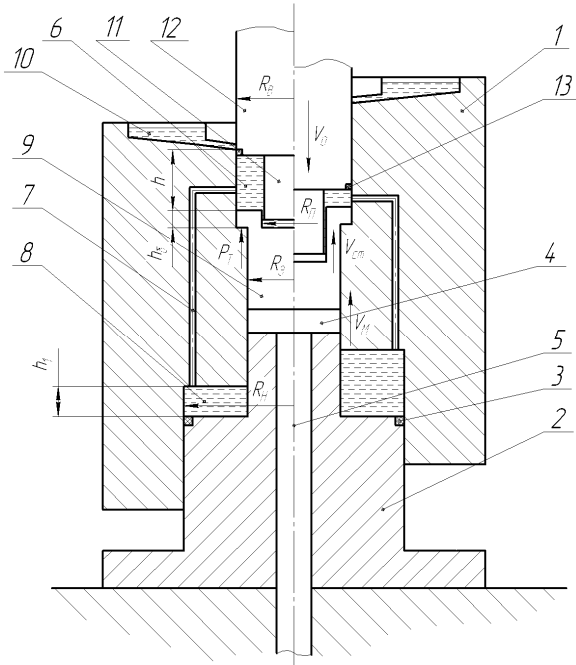


Рис. 1. Схема штампу для видавлювання з розтягом сталевих виробів з порожниною постійного діаметру

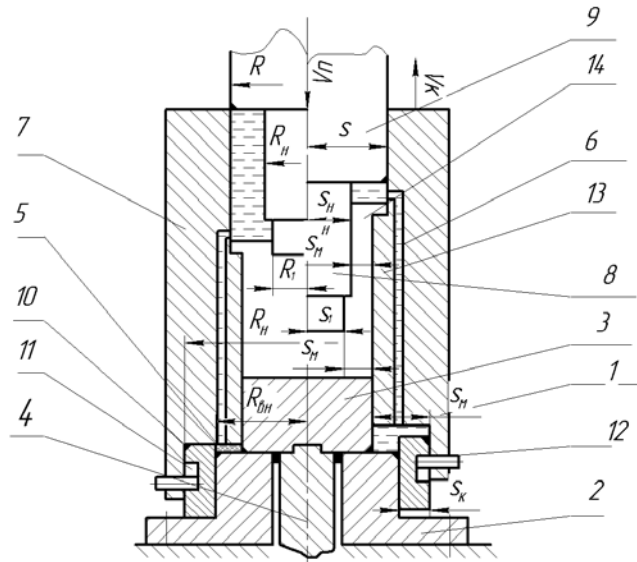


Рис. 2. Схема штампу для холодного видавлювання ступінчастих порожнин

При русі плунжера 12 з пуансоном 11 вниз виконується стискання рідини в верхній 6 та нижній 8 порожнинах штампу. Від тиску рідини виникає зусилля, яке змушує переміщуватись контейнер 1 вгору, однак цьому перешкоджає бурт заготовки 9. Тому при видавлюванні виникає тягнуче зусилля за бурт. В подальшому, пуансон 11 деформує заготовку 9, одночасно плунжер 12 витискує рідину з порожнини 6 в порожнину 8, що забезпечує постійне зчеплення контейнера 1 при його русі вгору з буртом заготовки 9.

Варіант розробленої конструкції штампу для отримання ступінчастих порожнин показаний на рис. 2 [4]. На відміну від описаної конструкції, штамп містить регульовальне кільце 10 з проточками 11, в яких розміщені стержні 12 закріплені в контейнері 1, що дозволяє змінювати розміри нижньої порожнини, а також швидкість контейнера на початку видавлювання в деталі порожнини більшого діаметра.

Визначення основних розмірів штампу (див. рис. 1) проводилось на основі рівності витрат при видавлюванні робочої рідини з верхньої порожнини 6 в нижню порожнину 8 .

Згідно рекомендацій [3] висоту бурта  $H_6$  і радіус бурта  $R_6$  розраховують так:

$$H_6 = 2 \cdot (R_3 - R_n) ; \tag{1}$$

$$R_6 = R_3 + 0,78 \cdot (R_3 - R_n) . \tag{2}$$

Таким чином, діаметр меншої порожнини контейнера 6 (див. рис. 1) відомий і дорівнює  $R_6$ . Знайдемо діаметр  $R_n$  каналу 8. Швидкість переміщення контейнера 1  $\mathcal{G}_m$  повинна бути однаковою з швидкістю  $\mathcal{G}_{cm}$ , із якою метал витікає в стінку. Витрати рідини в каналі 6 ( $\nu_0$ ) при одночасному русі плунжера 13 з пуансоном 11 вниз зі швидкістю  $\mathcal{G}_0$  і бурта стаканчика, який рухається назустріч зі швидкістю  $\mathcal{G}_{cm}$  становлять:

$$\nu_0 = \mathcal{G}_0 \cdot \pi \cdot (R_6^2 - R_n^2) + \mathcal{G}_{cm} \cdot \pi \cdot (R_6^2 - R_n^2). \quad (3)$$

Швидкість  $\mathcal{G}_{cm}$  визначимо через швидкість пуансона  $\mathcal{G}_0$ :

$$\mathcal{G}_0 \cdot \pi \cdot R_n^2 = \mathcal{G}_{cm} \cdot \pi \cdot (R_3^2 - R_n^2). \quad (4)$$

Звідки знаходимо:

$$\mathcal{G}_{cm} = \frac{\mathcal{G}_0 \cdot R_n^2}{(R_3^2 - R_n^2)}. \quad (5)$$

Підставимо (5) і (3):

$$\nu_0 = \mathcal{G}_0 \cdot \pi \cdot (R_6^2 - R_n^2) + \frac{\mathcal{G}_0 \cdot R_n^2}{R_3^2 - R_n^2} \cdot \pi \cdot (R_6^2 - R_n^2) = \mathcal{G}_0 \cdot \pi \cdot (R_6^2 - R_n^2) \cdot \left(1 + \frac{R_n^2}{R_6^2 - R_n^2}\right). \quad (6)$$

Прихід рідини в нижню порожнину штампку 8 при русі контейнера вверх визначиться як:

$$\nu_1 = \pi \mathcal{G}_{cm} (R_n^2 - R_3^2). \quad (7)$$

Прирівнюємо витрати з верхньої порожнини 6 та прихід в нижню порожнину 8:

$$\pi \mathcal{G}_{cm} (R_n^2 - R_3^2) = \mathcal{G}_0 \cdot \pi \cdot (R_6^2 - R_n^2) \cdot \left(1 + \frac{R_n^2}{R_6^2 - R_n^2}\right). \quad (8)$$

Враховуючи (5), визначаємо діаметр нижньої порожнини 8 штампку:

$$R_n^2 = R_3^2 \cdot \left( \frac{R_6^2 - R_n^2}{R_n^2} + 1 \right). \quad (9)$$

Розтягуюче зусилля  $P$ , яке прикладається до бурта заготовки при видавлюванні, може бути визначене через тиск рідини  $q$  і різницю площ:

$$P = q \cdot \pi \left[ (R_n^2 - R_3^2) - (R_6^2 - R_n^2) \right]. \quad (10)$$

Питоме розтягуюче зусилля  $p$  в стінці деталі не повинно перевищувати напруження текучості  $\sigma_s$  матеріалу стінки деталі [3]. Його визначаємо за формулою:

$$p = \frac{P}{\pi (R_3^2 - R_n^2)} \leq \sigma_s. \quad (11)$$

Приймаємо  $p = \sigma_s$ . Тоді з урахуванням (10) і (11) визначаємо тиск рідини  $q$ , який необхідний для створення максимальних напружень розтягу в стінці деталі при видавлюванні:

$$q = \frac{\sigma_s (R_3^2 - R_n^2)}{(R_n^2 - R_3^2) - (R_0^2 - R_n^2)}. \quad (12)$$

Тепер необхідно знайти величину ходу плунжера  $h_n$  (до моменту перекриття ущільненням 13 отвору резервуара 10), при якому в робочій рідині при пружному стисканні виникне вказаний тиск  $q$ .

Згідно [5] об'єм рідини після стискання до тиску  $q$  буде дорівнювати:

$$V_1 = V_0 \cdot (1 - \beta \cdot q), \quad (13)$$

де  $V_0$  – початковий об'єм рідини,  $\beta$  – стискувальність рідини,  $\beta = \frac{1}{k}$ ,  $k$  – модуль пружності рідини (для мінерального масла становить 1200 МПа).

Початковий об'єм рідини в верхній порожнині становить:

$$V_0 = \pi \cdot h \cdot (R_0^2 - R_n^2), \quad (14)$$

де  $h$  – висота верхньої порожнини.

Об'єм рідини після стискання до тиску  $q$  дорівнює:

$$V_1 = \pi \cdot h_1 \cdot (R_0^2 - R_n^2). \quad (15)$$

Таким чином хід плунжера для стискання рідини  $h_n$  буде дорівнювати  $h_n = h - h_1$ . Прирівнюємо об'єми (15) і (13) та з урахуванням (14) отримуємо:

$$\pi \cdot h_1 \cdot (R_0^2 - R_n^2) = \pi \cdot h \cdot (R_0^2 - R_n^2) (1 - \beta q). \quad (16)$$

Звідки:

$$h_1 = h (1 - \beta \cdot q). \quad (17)$$



Рис. 3. Деталі, отримані в штампі для холодного видавлювання з розтягом

Тоді :

$$h_n = h \cdot \beta \cdot q = h \cdot \frac{1}{k} \cdot q.$$

Для прикладу наведемо конструктивні розміри штампу для видавлювання деталей із сталі 20 з розмірами  $R_n = 15$  мм,  $R_3 = 20$  мм,  $R_6 = 26$  мм і  $h = 65$  мм:  $R_n = 34,6$  мм, величина ходу плунжера для створення тиску робочої рідини  $q = 120$  МПа  $h_n = 6,6$  мм. видавлювання деталей виконувалось на пресі марки ДБ 2436 номінальним зусиллям 4 МН. Зусилля видавлювання на пуансоні становило 1,26 МН. В порівнянні зі звичайним холодним зворотнім видавлюванням, зменшення зусилля на деформуючому інструменті практично дорівнювалось розтягуючому зусиллю за борт заготовки, яке склало 1,32 МН. Деталі, які отримані видавлюванням з розтягом показані на рис. 3.

### ВИСНОВКИ

1. Розроблена конструкція штампу для холодного видавлювання порожнистих сталевих виробів в якому використовується рідина високого тиску і який не потребує застосування додаткових приводів для створення розтягуючих напружень.

2. Запропоновані аналітичні залежності для визначення основних конструктивних параметрів штампу в залежності від геометрії виробу та від тиску робочої рідини для створення оптимального розтягуючого зусилля за борт заготовки.

3. Наведений приклад використання аналітичних залежностей для конкретної геометрії виробу, що забезпечувало отримання порожнинних виробів з буртом з Ст. 20. При видавлюванні по запропонованій схемі, спостерігалось зниження зусилля на деформуючому інструменті на величину розтягуючих зусиль.

### ЛІТЕРАТУРА

1. А. с. СССР № 174107. Способ выдавливания / Ю. П. Можейко, Н. К. Розенталь. – Оpub. 1965, Бюл. № 10.
2. Овчинников А. Г. Холодное выдавливание полых цилиндрических изделий с активными силами трения / А. Г. Овчинников, А. М. Дмитриев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1981. – № 6. – С. 24–26.
3. Кудо Х. Холодное выдавливание с растяжением / Х. Кудо // Экспресс-информация. Технология и оборудование кузнечно-штамповочного производства. – 1973. – № 42. – С. 18–30.
4. А. с. СССР № 1357111. Устройство для штамповки деталей / Ю. Ф. Черный, В. Л. Калюжный и др. – Оpub. 1987, Бюл. № 4.
5. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Баишта, С. С. Руднев и др. – М. : Машиностроение. – 1982. – С. 423.

Калюжный В. Л. – д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПІ»;

Сабол С. Ф. – асистент НТУУ «КПІ»;

Калюжный О. В. – канд. техн. наук, асистент НТУУ «КПІ»;

Піманов В. В. – магістр НТУУ «КПІ».

НТУУ «КПІ» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ.

E-mail: k\_OMD.ukr.net