

ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ З
РОЗДАЧЕЮ ПРЯМОКУТНИХ ПРОФІЛІВ

В теперішній час холодним видавлюванням із сталей і кольорових металів отримують профілі різної конфігурації. Накопичений виробничий досвід традиційного прямого видавлювання суцільних стержнів викладений в джерелі [1]. Відмічено, що при видавлюванні мають місце високі питомі зусилля на деформуючому інструменті і низька його стійкість. Використання рідини, яка знаходиться під високим тиском, в якості передавача зусилля на заготовку частково вирішує проблему підвищення стійкості матриць при прямому видавлюванні профілів. Це пов'язано зі зниженням зусилля видавлювання за рахунок зниження або виключення тертя між поверхнею заготовки і контейнером. Практичне використання процесів прямого видавлювання за допомогою рідини викладене в роботах [2-4]. Показані можливості отримання фасонованих профілів із мало і середньо вуглецевих сталей, а також з штампових і інструментальних матеріалів. Однак широкому розповсюдженню таких процесів також заважають низька стійкість матриць і ущільнюючих елементів, особливо при отриманні профілів із штампових і інструментальних матеріалів. При участі одного із авторів був розроблений спосіб отримання профілів шляхом прямого видавлювання з роздачею [5]. Сутність способу полягає в тому, що видавлювання виконується з круглих заготовок, діаметр яких менший за максимальний розмір перетину профілю, що отримується. Тому він був названий „ видавлювання з роздачею”. Профіль формується за рахунок одночасної деформації заготовки по конічній частині матриці в осьовому та течії металу в поперечному напрямках. В свій час були проведені експериментальні дослідження по отриманню прямокутних профілів з круглих заготовок, які показали, що крім суттєвого зниження зусилля видавлювання, одночасна течія металу в осьовому і поперечному напрямках забезпечує добре пропрацювання пластичною деформацією структури металу по об'єму профілю. Однак до теперішнього часу відсутні залежності для визначення силових режимів для видавлювання прямокутних профілів різних розмірів.

Ціль роботи – розробка аналітичних залежностей для визначення зусилля та питомого зусилля процесів прямого видавлювання з роздачею.

Розрахункова схема прямого видавлювання з роздачею в трьох проекціях показана на рис. 1 (1- пуансон, 2- заготовка, 3-матриця). На першій проекції показаний переріз по вісі Y . На вигляді зверху праворуч від вісі x наведений переріз, який перпендикулярний вісі Z на початку переходу циліндричної поверхні матриці в конічну. Ліворуч від вісі x показаний довільний переріз конічної поверхні матриці радіусом r . Рахуємо, що при видавлюванні заготовки по конічним поверхням матриці подовження її не має. Метал витікає в прямокутний отвір матриці в напрямку вісі x . Розглядаємо усталену стадію процесу, деформація в напрямку вісі Z - $\varepsilon_z = 0$ (плоский деформований стан). В силу симетрії розглядаємо четверту частину заготовки. Заготовку розділимо на три об'єми (I-III). В першому об'ємі, який знаходиться в отворі шириною $\frac{h}{2}$ і обмежений радіусом r і розміром $\frac{b_0}{2}$, формозміна металу відсутня і він зміщується в напрямку вісі x як жорстке ціле. Звідки напруження σ_{y1} в металі коло стінки отвору матриці не може бути більшим напруження

текучості σ_{s1} [6]. Візьємо максимально можливе абсолютне значення напруження:

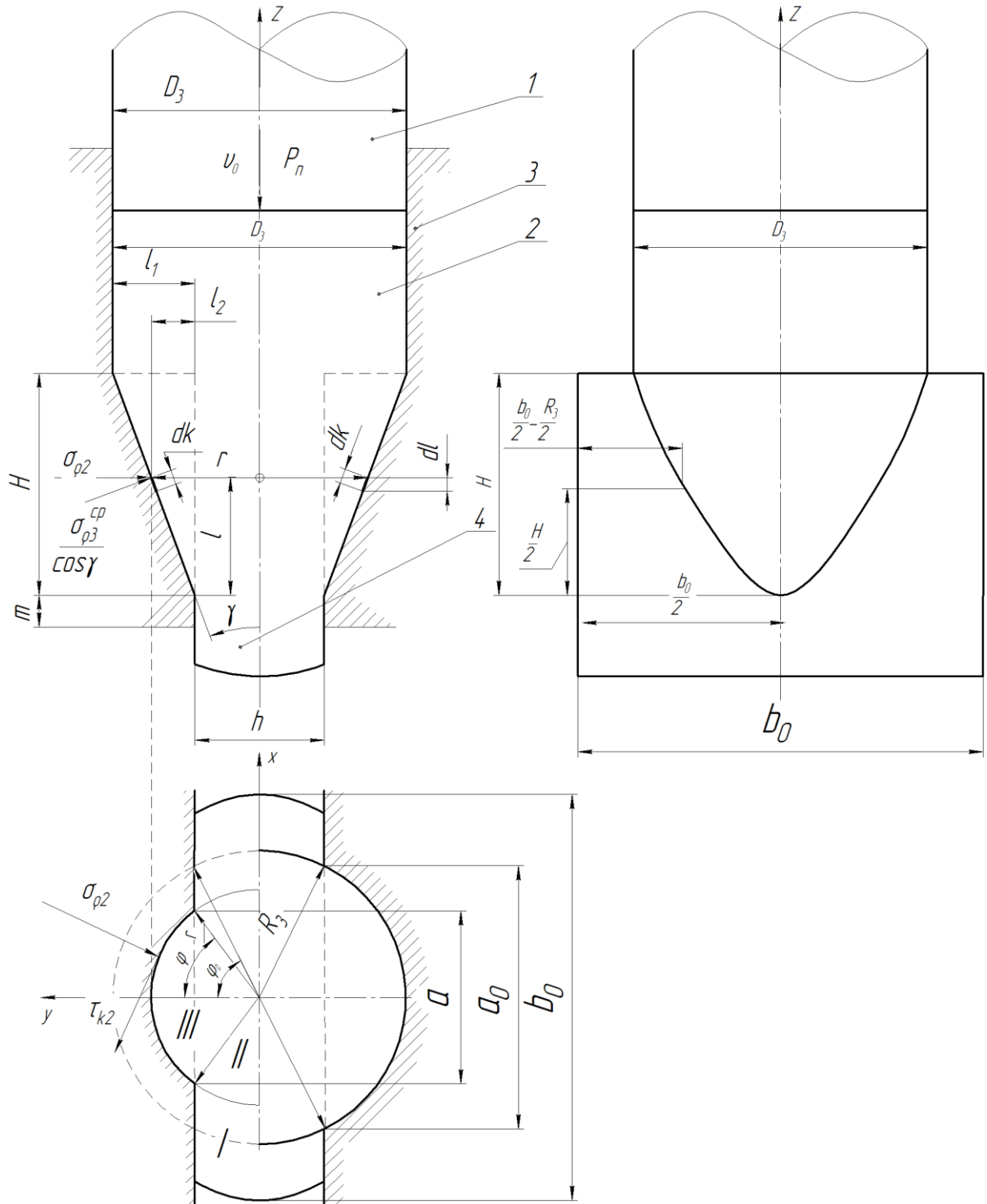
$$|\sigma_{y1}| = \sigma_{s1} \quad (1)$$


Рис. 1. Розрахункова схема прямого видавлювання з роздчею
 Опір переміщенню метала буде створювати контактне тертя на стінці отвору матриці, що має вигляд трапеції з основами $\frac{b_0}{2}$ і $\frac{b_0}{2} - R_3$ та висотою H . Від дії тертя виникає рівнодіюча сила (див. рис. 1, права проекція):

$$P_1 = \mu_1 \cdot |\sigma_{y1}| \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{b_0}{2} + \frac{b_0}{2} - R_3 \right) \cdot H = \mu_1 \cdot |\sigma_{y1}| \cdot \left(\frac{b_0}{2} - \frac{R_3}{2} \right) \cdot H \quad (2)$$

В (2) μ_1 коефіцієнт тертя на вказаній стінці. Тоді необхідне середнє по висоті матриці H питома зусилля p_1 в перерізі профілю в отворі матриці висотою $\frac{h}{2}$ і шириною $\frac{b_0}{2} - \frac{R_3}{2}$ визначаємо так:

$$p_1 = \frac{P_1}{F_{cp}} = \frac{\mu_1 \cdot |\sigma_{y1}| \cdot \left(\frac{b_0}{2} - \frac{R_3}{2}\right) \cdot H}{\left(\frac{b_0}{2} - \frac{R_3}{2}\right) \cdot \frac{h}{2}} = \frac{\mu_1 \cdot \sigma_{s1} \cdot 2 \cdot H}{h}, \quad (3)$$

В виразі (3) F_{cp} - середня по висоті матриці $\frac{H}{2}$ площа профілю в отворі матриці висотою $\frac{h}{2}$ в першому об'ємі. Розглянемо 2 об'єм, який представляє собою сектор радіусом r і кутом $\frac{\pi}{2} - \varphi$. Для визначення напруженого стану використовуємо полярні координати. Запишемо рівняння рівноваги в цих координатах:

$$\frac{\partial \tau_{\theta\rho 2}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{\rho 2}}{\partial \theta} + \frac{2 \cdot \tau_{\theta\rho 2}}{\rho} = 0 \quad (4)$$

Оскільки нам необхідно вирахувати необхідне для деформації питома зусилля, а не розподіл напружень в осередку деформації, то будемо визначити напруження на конічній поверхні матриці при $\rho = r$. На цій поверхні координата ρ постійна, то σ_{θ} не залежить від ρ і тоді:

$$\frac{\partial \sigma_{\theta 2}}{\partial \theta} = \frac{d\sigma_{\theta 2}}{d\theta}$$

З умови пластичності $\sigma_{\rho 2} - \sigma_{\theta 2} = \sigma_{s2}$ отримуємо:

$$\frac{d\sigma_{\rho 2}}{d\theta} = \frac{d\sigma_{\theta 2}}{d\theta}$$

На поверхні радіусом r між першим і другим об'ємами виникає зсув і там діє дотичне напруження зсуву τ_3 , яке є постійним. Значення τ_3 приймаємо максимальним [6]:

$$\tau_3 = -0,5 \cdot \sigma_{s2}^* = -\frac{\sigma_{s2}}{\sqrt{3}}$$

Розподіл дотичного напруження $\tau_{\theta\rho 2}$ по вісі ρ приймаємо лінійним, причому $\tau_{\theta\rho 2=0}$ на вісі симетрії. Тоді:

$$\frac{\partial \tau_{\theta\rho 2}}{\partial \rho} = -\frac{\sigma_{s2}}{\sqrt{3} \cdot r}$$

Підставимо всі знайдені значення напружень в (4):

$$\frac{d\sigma_{\rho 2}}{d\theta} = \frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}}$$

Після інтегрування отримуємо:

$$\sigma_{\rho 2} = \frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \theta + C \quad (5)$$

Довільну постійну C знаходимо з граничної умови: при $\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi$ напруження $\sigma_{\rho 2}$ дорівнює питоному зусиллю p_1 при $x = 0,5 \cdot a$. Тоді:

$$C = -p_1 - \frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right)$$

Підставимо C в (8):

$$\sigma_{\rho 2} = \frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \theta - p_1 - \frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) = -\frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi - \theta \right) - p_1$$

З умови пластичності $\sigma_{\rho 2} - \sigma_{\theta 2} = \sigma_{s2}$ знаходимо $\sigma_{\theta 2}$:

$$\sigma_{\theta 2} = \sigma_{\rho 2} - \sigma_{s2} = -\frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi - \theta \right) - p_1 - \sigma_{s2}$$

Переходимо до 3 об'єму. Запишемо рівняння рівноваги:

$$\frac{\partial \tau_{\rho \theta 3}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{\theta 3}}{\partial \theta} + \frac{2 \cdot \tau_{\rho \theta 3}}{\rho} = 0 \quad (6)$$

Умова пластичності для 3 об'єму має вигляд: $\sigma_{\rho 3} - \sigma_{\theta 3} = -\sigma_{s3}$.

На поверхні матриці радіусом r діє дотичне напруження $\tau_{r\theta 3} = -\tau_k = -\mu_2 \cdot \sigma_{\rho 3}$ (μ_2 - коефіцієнт тертя на конічній поверхні матриці). Вказане напруження також залежить лінійно від координати ρ . По аналогії з другим об'ємом отримуємо:

$$\frac{\partial \tau_{\rho \theta 3}}{\partial \rho} = -\frac{\mu_2 \sigma_{\rho 3}}{r}$$

Підставимо вирази для дотичних напружень в (6):

$$-\frac{\mu_2 \sigma_{\rho 3}}{r} + \frac{1}{\rho} \frac{d\sigma_{\theta 3}}{d\theta} - \frac{\mu_2 \sigma_{\rho 3}}{r} = 0$$

Після інтегрування маємо:

$$\ln(\sigma_{\theta 3} - \sigma_{s3}) = \frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \theta + \ln C$$

Перепишемо (15):

$$\sigma_{\theta 3} - \sigma_{s3} = C \cdot e^{\frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \theta} \quad (7)$$

Довільну постійну C знаходимо з граничної умови, що на поверхні між 2 і 3 об'ємами при $\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi$ напруження $\sigma_{\theta 3} = \sigma_{\theta 2}$. З урахуванням вище отриманого виразу для $\sigma_{\theta 2}$ і (7) запишемо:

$$-\frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi - \frac{\pi}{2} - \varphi \right) - p_1 - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} = C \cdot e^{\frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right)}$$

Звідки:

$$C = \left(-p_1 - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} \right) \cdot e^{-\frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right)}$$

Підставимо C в (7):

$$\sigma_{\theta 3} = \left(-p_1 - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} \right) \cdot e^{-\frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right)} \cdot e^{\frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \theta} = \left(-p_1 - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} \right) \cdot e^{\frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{2} \right)} \quad (8)$$

З умови пластичності знаходимо напруження $\sigma_{\rho 3}$:

$$\sigma_{\rho 3} = \sigma_{\theta 3} - \sigma_{s3} = \left(-p_1 - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} \right) \cdot e^{\frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{2} \right)} - \sigma_{s3} \quad (9)$$

Для спрощення рішення знаходимо середнє значення $\sigma_{\rho 3}^{cp}$ на дузі контактуючої поверхні матриці радіусом r , а також зробимо заміну:

$$e^{\frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{2} \right)} \approx \frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{2} \right) + 1 :$$

$$\sigma_{\rho 3}^{cp} = \frac{\sigma_{\rho 3}, \text{ при } \theta = \frac{\pi}{2} - \varphi + \sigma_{\rho 3}, \text{ при } \theta = \frac{\pi}{2} - \varphi + \varphi}{2} = \left(-p_1 - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} \right) \left[0,87 \cdot \mu_2 (\pi - \varphi) + 1 \right] - \sigma_{s3}$$

В вираз для $\sigma_{\rho 3}^{cp}$ підставимо формулу (3) для p_1 . Після перетворень отримуємо:

$$\sigma_{\rho 3}^{cp} = \left(-\frac{\mu_1 \cdot \sigma_{s1} \cdot 2 \cdot H}{h} - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} \right) \left[\mu_2 (2,7 - 0,87 \cdot \varphi) + 1 \right] - \sigma_{s3} \quad (10)$$

Для знаходження зусилля прямого видавлювання з роздачею необхідно визначити елементарну площу dF конічної поверхні довжиною dl , яка утворена перерізом зрізаного конуса прямокутною призмою, вісь якої співпадає з віссю конуса. Більший діаметр зрізаного конуса рівний діаметру заготовки D_3 . Для отримання прямокутного профілю менший діаметр зрізаного конуса дорівнює меншому розміру h прямокутного профілю (див. рис. 1). Тоді елементарне зусилля видавлювання на двох поверхнях матриці:

$$dP_{II} = 2 \cdot \frac{|\sigma_{\rho 3}^{cp}|}{\cos \gamma} \cdot dF, \quad (11)$$

де $\frac{\sigma_{\rho 3}^{cp}}{\cos \gamma}$ проекція середнього напруження $\sigma_{\rho 3}^{cp}$ на конічну поверхню матриці з кутом конуса γ . Елементарна площа четвертої частини конічної поверхні матриці радіусом r :

$dF = r \cdot \varphi \cdot dk$. Крім того знаходимо:

$$dk = \frac{dl}{\cos \gamma}; \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{H}{l} \quad \text{і} \quad l = \frac{H \cdot l_2}{l_1}$$

Розміри l_1 і l_2 можна визначити так:

$$l_2 = r - r \cos \varphi = r(1 - \cos \varphi) \quad \text{і} \quad l_1 = R_3 - \frac{h}{2}$$

В свою чергу:

$$r \cdot \cos \varphi = R_3 \cdot \cos \varphi_0; \quad r = \frac{R_3 \cdot \cos \varphi_0}{\cos \varphi}; \quad l_2 = R_3 \cdot \cos \varphi_0 \left(\frac{1}{\cos \varphi} - 1 \right); \quad \frac{R_3 - \frac{h}{2}}{H} = tq\gamma$$

Тоді знаходимо:

$$l = \frac{R_3 \cdot \cos \varphi_0 \left(\frac{1}{\cos \varphi} - 1 \right)}{tq\gamma}$$

Диференціюємо останній вираз для визначення dl :

$$dl = \frac{R_3 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi}{tq\gamma \cdot \cos^2 \varphi}$$

Тоді елементарна площа має вигляд:

$$dF = \frac{R_3 \cdot \cos \varphi_0}{\cos \varphi} \cdot \varphi \cdot \frac{R_3 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi}{tq\gamma \cdot \cos^2 \varphi \cdot \cos \gamma} = \frac{R_3^2 \cdot \cos^2 \varphi_0}{\sin \gamma} \cdot \varphi \cdot \frac{\sin \varphi \cdot d\varphi}{\cos \varphi \cdot \cos^2 \varphi} \quad (12)$$

З урахуванням (11) і (12) знаходимо елементарне зусилля і потім повне зусилля видавлювання:

$$P_{II} = \frac{4 \cdot R_3^2 \cos^2 \varphi_0}{\sin 2\gamma} \int_0^{\varphi_0} \left\{ \left(-\frac{\mu_1 \cdot \sigma_{s1} \cdot 2 \cdot H}{h} - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} \right) [\mu_2 (2,7 - 0,87 \cdot \varphi) + 1] - \sigma_{s3} \right\} \frac{\varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi}{\cos \varphi \cdot \cos^2 \varphi}$$

Величина напруження текучості в трьох об'ємах має різну величину (σ_{s1}, σ_{s2} і σ_{s3}). В формулі для зусилля P_{II} беремо цю величину постійною, а зміцнення в подальшому врахуємо по середньому значенню σ_s^{cp} в осередку деформації. Після інтегрування останнього виразу і перетворень отримуємо формулу для знаходження зусилля прямого видавлювання з роздачею:

$$P_{II} = \frac{\sigma_s \cdot 4 \cdot R_3^2 \cdot \cos^2 \varphi_0}{\sin 2\gamma} \left\{ \left(-\frac{\mu_1 \cdot 2 \cdot H}{h} - 2 \right) [(\mu_2 \cdot 2,7 + 1)(0,5 \cdot \varphi_0 \cdot tq^2 \varphi_0 + 0,5 \cdot \varphi_0 - 0,5 \cdot tq \varphi_0) - \mu_2 \cdot 0,87 \cdot (0,5 \cdot \varphi_0 \cdot tq^2 \varphi_0 + 0,5 \cdot \varphi_0^2 - \varphi_0 \cdot tq \varphi_0 - \ln \cos \varphi_0)] - (0,5 \cdot \varphi_0 \cdot tq^2 \varphi_0 + 0,5 \cdot \varphi_0 - 0,5 \cdot tq \varphi_0) \right\}$$

Вище було наведено, що формула (39) для визначення зусилля прямого видавлювання не враховує зміцнення. Для врахування зміцнення запишемо апроксимацію діаграми істинних напружень у вигляді [6]:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_{uu}} \left(\frac{\psi}{\psi_{uu}} \right)^{1 - \psi_{uu}},$$

де: σ_B - межа міцності; ψ_{uu} - відносне зменшення площі поперечного перерізу зразка в момент утворення шийки; ψ - відносне зменшення площі поперечного перерізу зразка.

Знайдемо середнє значення σ_s^{cp} в осередку деформації. Замість ψ визначимо його середнє значення ψ_{cp} . Для цього за вихідну площу F_0 до деформації заготовки беремо площі двох кругових сегментів радіусами R_3 і кутами $2\varphi_0$ (див. рис. 1, проекція зверху). За середню площу F_{cp} беремо площу двох кругових сегментів радіусами r_{cp} (при висоті матриці $\frac{H}{2}$) і кутами $2\varphi_1$. Площі F_0 і F_{cp} дорівнюють:

$$F_0 = 2 \frac{R_3^2}{2} (2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0) = R_3^2 (2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)$$

$$F_{cp} = 2 \cdot \frac{r_{cp}^2}{2} (2 \cdot \varphi_1 - \sin 2\varphi_1) = r_{cp}^2 \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \sin 2\varphi_1)$$

З рисунка знаходимо:

$$r_{cp} = \frac{R_3}{2} + \frac{h}{4}$$

Тоді можемо визначити ψ_{cp} і σ_s^{cp} :

$$\psi_{cp} = \frac{F_{cp}}{F_0} = \frac{(2 \cdot R_3 + h) \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \sin 2\varphi_1)}{16 \cdot R_3^2 \cdot (2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)} \quad \sigma_s^{cp} = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_{uu}} \left[\frac{(2 \cdot R_3 + h)^2 \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \sin 2\varphi_1)}{16 \cdot \psi_{uu} \cdot R_3^2 \cdot (2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)} \right]^{1 - \psi_{uu}}$$

Якщо замінити σ_s на σ_s^{cp} в формулі для P_{II} , то можна визначити зусилля видавлювання з урахуванням зміцнення.

Експериментальні дослідження проводилися в штампі, схема якого показана на рис. 2. До верхньої плити штамбу (рис. 2а) закріплений пуансонотримач 1. Змінні

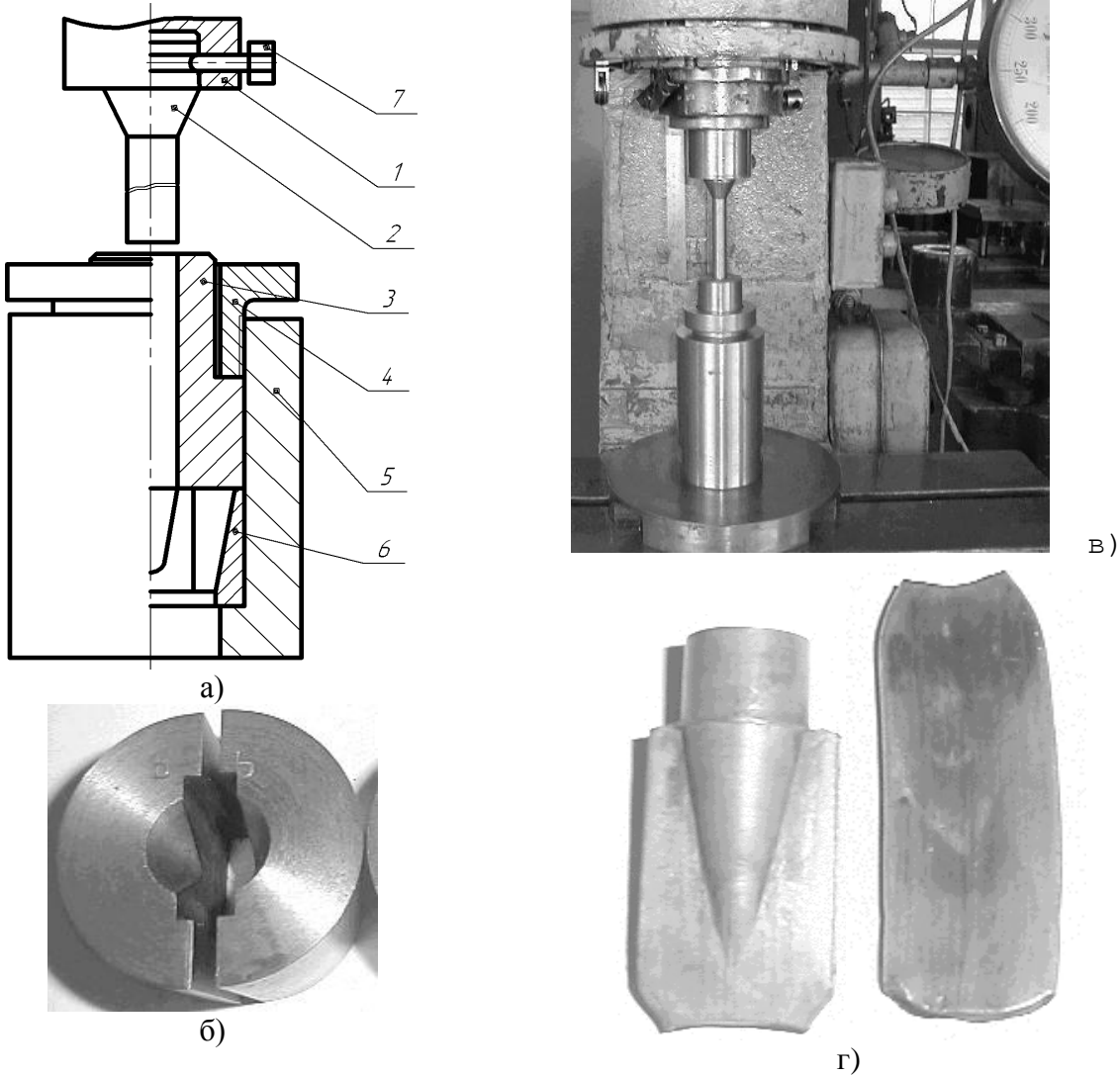


Рис. 2. Схема експериментального штамбу (а), роз'ємна матриця (б), штамп на пресі (в) та zdeформовані заготовки на проміжній стадії та кінцевій стадіях видавлювання(г) пуансони 2 фіксуються болтом 7 у пуансонотримачі 1. В циліндричний контейнер 5 запресована конічна втулка 6 для утримання роз'ємної матриці (рис. 1б). Зовнішня поверхня матриці виконана конічною. Це полегшує її центрування в контейнері і гарантує

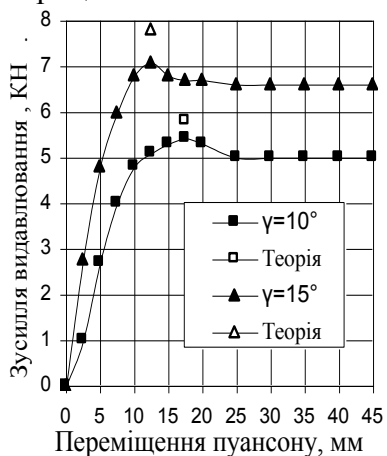


Рис. 3. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона

нерозкриття матриці в процесі видавлювання. Зверху на матрицю встановлена направляюча циліндрична втулка 3 з виконаним в ній робочим каналом для встановлення заготовки та направлення пуансона. Втулка 3 в контейнері піджимає роз'ємну матрицю за допомогою гайки 4. Така конструкція штамбу дозволяє швидко змінювати пуансони, матриці та виймати останню заготовку при пресуванні по схемі „заготовка за заготовкою”. Моделювання виконували на свинцевих зразках, діаметр заготовки 14 мм, розмір перетину прямокутного профілю: ширина 6 мм довжина 26 мм. Кути конусу матриці γ були 10^0 і 15^0 . При обох кутах мало місце повне заповнювання профілю. Подальше збільшення кута не забезпечувало заповнювання пофіля при пресуванні. На рис. 3. зображено залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансону, яка отримана при видавлюванні на випробувальній машині TIRA 2300

зусиллям 100 КН. Там же наведені дані, які вираховані по формулі для зусилля P_{II} . Порівняння експериментів і розрахунків по отриманій формулі показало, що відмінність їх склала до 10%. По схемі прямого видавлювання були отримані із сталі Р6М5 прямокутні профілі з розміром перетину 7 x 17 мм. В останньому випадку використовували відпалені вихідні заготовки діаметром 14 мм. Зусилля прямого видавлювання з роздачею склало 330 КН.

ВИСНОВКИ

1. При виготовленні профілів холодним видавлюванням перспективним способом є пряме видавлювання з роздачею, яке дозволяє знизити зусилля і питомі зусилля при формозміні.

2. Отримані аналітичні залежності для визначення контактних напружень та зусилля при видавлюванні прямокутних профілів з круглих заготовок, діаметр яких менший за максимальний розмір профілю. Враховані вплив тертя та зміцнення металу при холодній формозміні.

3. Проведені експериментальні дослідження підтвердили відповідність розрахункових і даних експерименту по зусиллям видавлювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т/Ред. Совет: Е.И. Семенов (предс.) и др. –М.: Машиностроение, 1987- т.3. Холодная объемная штамповка /Под ред. Г.А. Навроцкого. 1987. -384 с.*
2. *Береснев Б.И., Езерский К.И., Трушин Е.В. Физические основы и практическое применение гидроэкструзии. М.: Наука, 1981. – 240 с.*
3. *Черный Ю.Ф., Спусканюк В.З., Лядская А.А. и др. Гидропрессование инструментальных сталей. К: Техника, 1987. – 217 с.*
4. *В.А. Белошенко, В.Н. Варюхин, В.З. Спусканюк. Теория и практика гидроэкструзии. К.: Наукова думка, 2007. – 246 с.*
5. *Черный Ю.Ф., Калужный В.Л., Фоменко В.А., Воронин Н.И. Способ выдавливания фасонных изделий. А.с. СССР. № 1738409. –Опубл. в Бюл. № 21, 1992г.*
6. *Сторожев М.В., Попов Е.А.. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.:Машиностроение, 1977. - 423 с.*

Калужный В.Л. – докт. техн. наук, профессор НТУУ „КПІ”

Калужный О.В. – канд. техн. наук, асист. НТУУ „КПІ”

Горноста́й В.М. - асист. НТУУ „КПІ”

Крижанівська І.Я. –магістр НТУУ ”КПІ”

НТУУ „КПІ” – національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

e-mail: k_OMD.ukr.net

АНОТАЦІЇ І КЛЮЧОВІ СЛОВА

Калюжний В.Л., Калюжний О.В., Горноста́й В.М., Крижанівська І.Я. Визначення зусилля холодного прямого видавлювання з роздачею прямокутних профілів // Обработка материалов давлением, - 2009. - №2 (20).

Запропоновані аналітичні залежності для визначення зусиль і питомих зусиль в процесах прямого видавлювання прямокутних профілів з роздачею. Формули отримані шляхом спільного вирішення диференційних рівнянь рівноваги і умови пластичності. Враховане зміцнення металу в осередку деформації. Проведені експериментальні дослідження по моделюванню прямого видавлювання профілів із свинцевих заготовок та видавлювання профілів із інструментальної сталі. Результати по зусиллю видавлювання показали хорошу відповідність теоретичних і експериментальних даних.

Калюжний В.Л., Калюжний А.В., Горноста́й В.Н., Крыжановская И.Я. Определение усилия холодного прямого выдавливания с раздачей прямоугольных профилей // Обработка материалов давлением, - 2009. - №2 (20).

Предложены аналитические зависимости для определения усилий и удельных усилий в процессах прямого выдавливания прямоугольных профилей с раздачей. Формулы получены путем совместного решения дифференциальных уравнений равновесия и условия пластичности. Учтено упрочнение металла в очаге деформации. Проведены экспериментальные исследования по моделированию прямого выдавливания на свинцовых заготовках и выдавливанию профилей из инструментальной стали. Результаты по усилию выдавливания показали хорошее соответствие теоретических и экспериментальных данных.

Kaljuzhny V.L., Kaljuzhny A.V., Gornostay V.N., Krizanivska I.Y.. Efforts definition of cold direct extrusion with dispensing of rectangular profiles. //Processing materials by pressure. – 2009. - №2 (20).

There are offered analytical dependences for definition of efforts and specific efforts in processes of direct extrusion of rectangular profiles with dispensing. Formulas are turned out by the joint solution of the differential equations of balance and a plasticity condition. Metal hardening in the deformation centre is considered. There are spent experimental researches by modeling results of direct extrusion on lead preparations and profiles extrusion from a tool steel. The effort results of extrusion have shown close fit of theoretical and experimental data.

Ключові слова: пряме видавлювання профілів з роздачею, напружений стан, зусилля видавлювання, зміцнення

Ключевые слова: прямое выдавливание профилей с раздачей, напряженное состояние, усилие выдавливания, упрочнение

Key words: Key words: direct extrusion of profiles with dispensing, stress state, extrusion effort, hardening.