

УДК 621.7

В.Л. Калюжний, д.т.н., проф., М.В. Орлюк, к.т.н., доц., В.М. Горностай, асист., В.В. А.С. Запорожченко, студ. НТУ України „Київський політехнічний інститут”

## РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ХОЛОДНОГО ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПРЯМОКУТНИХ ПРОФІЛІВ З ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

*Методом конечных элементов проведено моделирование процесса холодного прямого выдавливания прямоугольных профилей из высокоуглеродистой стали. Определено влияние размеров круглой заготовки и геометрии матрицы на получение профиля необходимых размеров. Установлена конечная геометрия изделия. Рассчитаны силовые режимы процесса, распределения удельных усилий на пуансоне и матрице.*

*Mathematical simulation of the direct extrusion of rectangular form made of high-carbon steel with using the finite element method is carried out. Influence of circle blank's dimensions and die's geometry on acquisition of profile of necessary dimensions is determined. The final geometry of detail is determined. Power modes of process, distribution of specific stresses on punch and die are calculated.*

### Вступ.

Розробка технології холодного прямого видавлювання фасонних профілів, зокрема прямокутних, в основному базується на використанні експериментальних даних і виробничого досвіду. Використання традиційного прямого видавлювання дозволяє отримувати профілі з пластичних металів і сплавів. Розрахунки параметрів вказаного процесу в основному зводиться до визначення силових режимів або питомих зусиль на деформуючому інструменті [1 - 3]. У вказаних джерелах практично відсутні дані для визначення кінцевої геометрії профілів, а також зміцнення здеформованого металу. Крім того, традиційне видавлювання не дозволяє отримувати профілі з важкодеформівних сталей. Таке обмеження пов'язане з високими питомими зусиллями на матриці при холодній формозміні, які приводять до низької її стійкості. Використання процесів прямого холодного видавлювання профілів за допомогою рідини, яка знаходиться під високим тиском, частково вирішує проблему отримання профілів з важкодеформівних, малопластичних сталей [4 - 7]. Розроблені та впроваджені технології отримання профілів з високовуглецевих, штампових і інструментальних сталей. Однак вказані процеси деформування за допомогою рідини під високим тиском також характеризуються високими питомими зусиллями як на матриці так і контейнері. Крім того, розробка технологій базується на виробничому досвіді та експериментальних дослідженнях, що потребує багато часу та великих трудовитрат.

На кафедрі МПМ та РП НТУУ „КПІ” розроблений спосіб отримання профілів з важкодеформівних сталей [8] при суттєво знижених зусилля деформування в порівнянні з вищенаведеними. Зниження зусилля забезпечується використанням вихідної круглої заготовки діаметром, який менший від максимального розміру перерізу профілю, та формоутворенням профілю по стисло-розтягнутій схемі напружень. Спосіб також забезпечує інтенсивне припрацювання структури металу холодною пластичною деформацією.

### Мета роботи.

Метою роботи є визначення розрахунковим шляхом параметрів холодного прямого видавлювання прямокутних профілів з циліндричних заготовок з високовуглецевої сталі.

### Результати досліджень.

Було проведено моделювання методом скінчених елементів процесів отримання прямокутних профілів холодним прямим видавлюванням круглої заготовки через матрицю, конструкція якої показана на рис. 1.

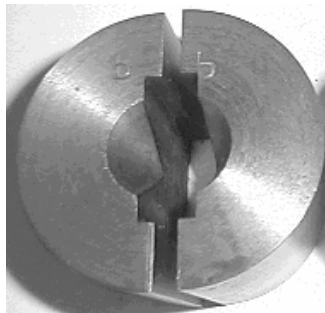


Рис. 1. Матриця для видавлювання з роздачею прямокутних профілів

Матриця складається з двох половин і має конусну деформуючу поверхню. Діаметр конуса відповідає діаметру вихідної циліндричної заготовки. Через всю матрицю виконаний прямокутний паз по розміру профіля, який необхідно отримати видавлюванням. Матриця запресовується в бандажі. Зверху на матрицю встановлюється контейнер з наскрізним отвором, який відповідає діаметру заготовки. Пряме видавлювання виконується по схемі „заготовка за заготовкою”. Розрахунком вивчали вплив кута конуса та діаметра заготовки на заповнення прямокутного паза при деформуванні заготовки по конічній поверхні. Визначали пружно-пластичне деформування заготовки зі зміцненням по способу початкових напружень. Деформуючий інструмент вважався абсолютно

жорстким. Тертя враховували на поверхні заготовки, яка контактує з контейнером, на конічній поверхні матриці, в прямокутному пазі і калібруючому пояску матриці. Величину коефіцієнт тертя приймали 0,08, що відповідає змащенню фосфатування з омилюванням. Процес видавлювання розподілявся на певну кількість кроків навантаження. Навантаження прикладали у вигляді крокового переміщення пуансона, який встановлювався на верхньому торці заготовки.

Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона при деформування заготовок різного діаметра показаний на рис. 2.

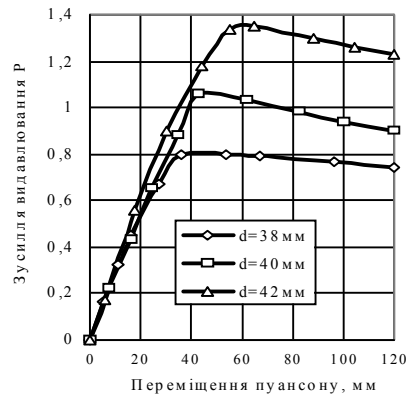


Рис. 2. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона

Кут при вершині конусу матриці був 20 градусів. Діаметри вихідних заготовок брали:  $d = 38, 40$  і  $42$  міліметри (мм). Характер залежності відповідає традиційному прямому видавлюванню. Зусилля спочатку зростає по мірі деформування заготовки по конічній поверхні з одночасною течією металу в прямокутний паз розміром  $22$  на  $52$  мм. Це є неусталеною стадією видавлювання. Коли профіль проходить калібруючий пояс матриці процес видавлювання переходить в усталену стадію. Зусилля зменшується за рахунок зменшення дії сил тертя між боковою поверхнею заготовки і контейнера. Максимальне зусилля  $R_d$  на переході видавлювання в усталену стадію збільшується зі зростанням діаметра  $d$ . Для  $d=38$  мм величина зусилля складала  $R_d = 0,8$  МН,  $d=40$  мм -  $R_d = 1,03$  МН,  $d=42$  мм -  $R_d = 1,35$  МН.

Діаметр вихідної заготовки впливає на заповнення прямокутного паза матриці. На рис. 3 представлені zdeформовані заготовки, які отримані з вихідних заготовок різного діаметра. Вихідна заготовка з  $d=38$  мм не заповнює прямокутний паз матриці. При  $d=40$  мм поверхня zdeформованої заготовки тільки торкається паза по розміру  $52$  мм. Видавлювання заготовки  $d=42$  мм практично заповнює необхідні розміри паза.

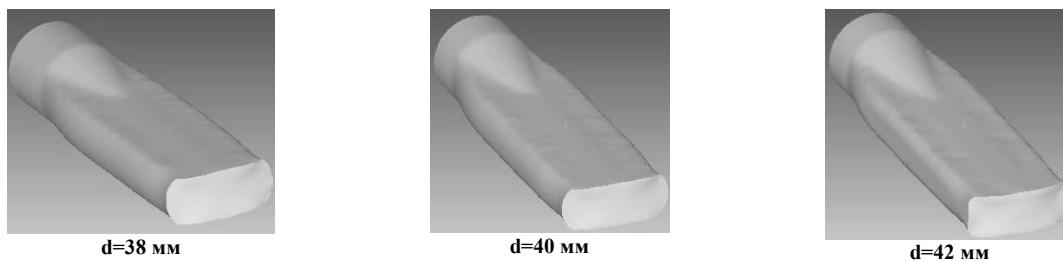


Рис. 3. Здеформовані заготовки, які отримані з вихідних заготовок різного діаметра  $d$

Також було проведено моделювання прямого видавлювання в матриці з деформуючою поверхнею у вигляді нахиленої призми замість конусної поверхні. Заміна деформуючої конусної поверхні на призму з кутами нахилу поверхонь, на яких відбувається деформування циліндричної заготовки, по  $10$  градусів забезпечує необхідне заповнення прямокутного паза при діаметрі заготовки  $d=40$  мм (рис. 5а).

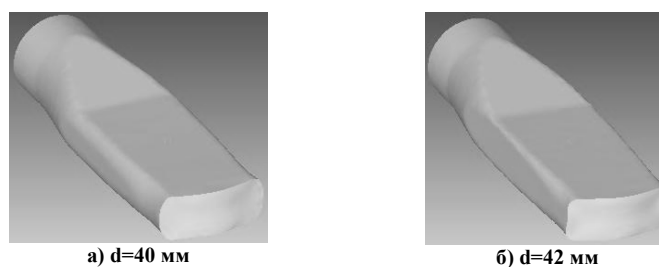


Рис. 5. Здеформовані заготовки, які отримані в матриці з деформуючою поверхнею у вигляді призми

Таке ж заповнення профілю було отримане при видавлюванні в конусній матриці заготовки діаметром  $42$  мм. Максимальне зусилля видавлювання у вказаній матриці досягає величини  $1,1$  МН, що на  $0,24$  МН менше в порівнянні з прямим видавлюванням в конусній матриці з заготовки з  $d=42$  мм. Збільшення діаметра заготовки до  $42$

мм підвищує точність здеформованих заготовок (рис. 5б). Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона при видавлюванні заготовок в матриці з деформуючою поверхнею у вигляді призми показана на рис. 6. На неусталених стадіях процесів зусилля видавлювання однакові. Максимальні зусилля на переході в усталену стадію заготовок діаметром  $d=40$  і  $42$  мм відповідно склали 1, 1 і 1,36 МН. Характер зміни зусилля видавлювання практично не відрізняються від зусиль, які отримані при формуванні профілів по конічній матриці (див. рис. 2).

Далі наведемо розрахункові дані, які необхідні для проектування штампового оснащення. Для вибору кількості бандажів для матриці необхідно знати розпираюче питоме зусилля, яке діє на поверхні матриці при видавлюванні. Для цього необхідно побудувати розподіл нормальних напружень на поверхні заготовки, що контактує з матрицею. На рис. 7 приведений розподіл напружень  $\sigma_y$  (напруження в напрямку вісі  $y$ , яка проходить по середині профілю меншого розміру) по висоті матриці при видавлюванні заготовки  $d=42$  в призматичній матриці. Найбільші по абсолютній величині напруження виникають на вході деформуючої поверхні матриці (2200 МПа). Потім вони зменшуються до значення 1150 МПа приблизно на середині деформуючої поверхні матриці і знову зростають до 2000 МПа при виході в калібруючий пояс.

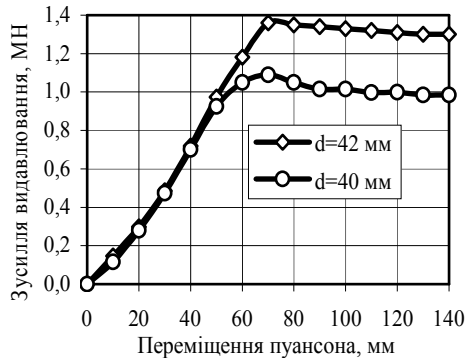


Рис. 6. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона при видавлюванні через призматичну матрицю

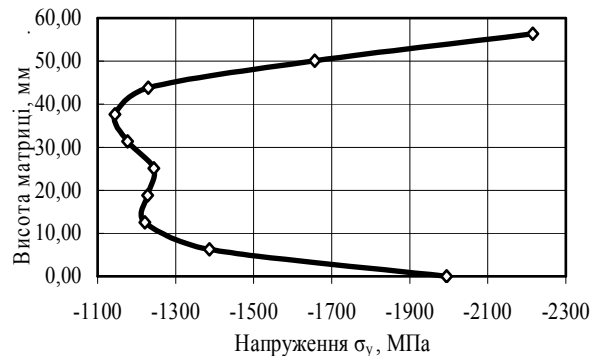


Рис. 7. Розподіл напружень  $\sigma_y$  по висоті деформуючої поверхні матриці

На рис. 8 представлений розподіл нормальних напружень (напруження  $\sigma_z$ ) на поверхні заготовки яка контактує з пуансоном. Через пуансон прикладається навантаження на верхній торець заготовки при прямому видавлюванні з роздачею по схемі „заготовка за заготовкою”. Максимальні напруження (1740 МПа) виникають на вісі пуансона. Далі вони зменшуються по радіусу і досягають мінімального значення 600 МПа на радіусі 21 мм. Максимальні значення вказаних напружень необхідні для вибору марки сталі при проектуванні пуансона.

Розрахунковий аналіз по зміцненню здеформованого металу дозволяє прогнозувати механічні властивості профілю після видавлювання. На рис. 9 наведений розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_t$  по перерізу прямокутного профілю більшого розміру. На виході з калібруючого пояса матриці зовнішні шари металу профілю мають  $\sigma_t=762$  МПа, інший об'єм  $\sigma_t=890$  МПа. Оскільки умовна межа течії високовуглецевої сталі після відпалу  $\sigma_{0,2}=350$  МПа, то метал отримав зміцнення по виразу  $\sigma_t/\sigma_{0,2}$  відповідно в 2,18 і 2,54 рази. По меншому розміру профілю (рис. 10) здеформований метал при виході з калібруючого пояса матриці має інтенсивність напружень  $\sigma_t=890$  МПа. Тобто метал зміцнився в 2,54 рази в порівнянні з вихідним станом.

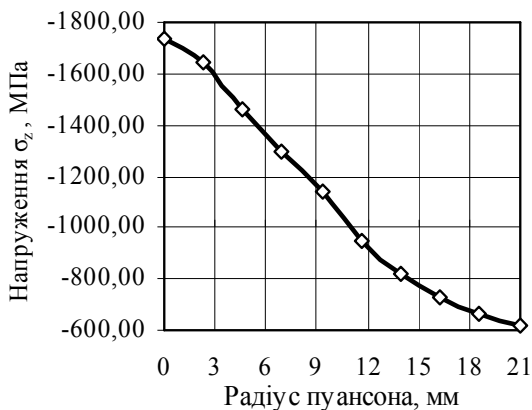


Рис. 8. Розподіл напружень  $\sigma_z$  по радіусу пуансона на верхньому торці заготовки

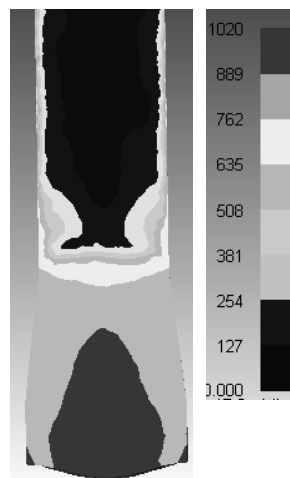


Рис. 9. Розподіл  $\sigma_t$  по більшому розміру профілю

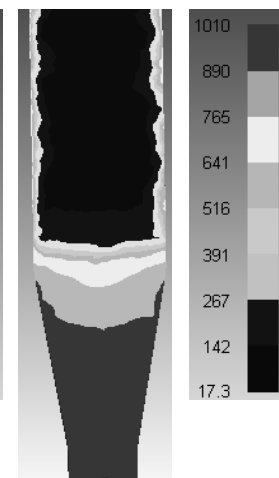


Рис. 10. Розподіл  $\sigma_t$  по меншому розміру профілю

Дані розрахункового аналізу дозволили запропонувати технологію отримання прямокутних профілів з важкодеформованих високовуглецевих сталей. Технологія повинна включати наступні операції: а) безвідхідне

неповністю відкрите різання сортового прокату круглого перерізу звичайної точності зсувом в штампі [9]. Підвищена твердість забезпечить отримання заготовок задовільної точності по діаметру і висоті заготовки; б) відпал заготовок по традиційному режимі для холодного видавлювання [1-2].; очистка заготовки від окалини, знежирення, травлення і нанесення змащення. В якості змащення можливо використовувати ВННІІНП-232, КТІОЛ-15 або фосфатування з омилуванням; холодне пряме видавлювання з роздачею на гідравлічному пресі по схемі „заготовка за заготовкою”.

#### **Висновок**

Методом скінчених елементів проведено моделювання процесу холодного прямого видавлювання з роздачею прямокутних профілів з високовуглецевої сталі. Досліджено вплив геометричної форми деформуючої поверхні матриці на зусилля деформування, заповнення розмірів профілю при формоутворенні. Встановлено, що точні кінцеві розміри забезпечуються при видавлюванні в матриці з деформуючою поверхнею у вигляді нахиленої призми. Виявлені максимальні питомі зусилля на поверхні заготовки, яка контактує з деформуючим інструментом. Запропонована технологія холодного видавлювання прямокутних профілів з високовуглецевої сталі.

#### **Список літератури**

1. Холодная объемная штамповка. Справочник. Под ред. Г.А. Навроцкого. М.: Машиностроение, 1973, - 496 с.
2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т.; т. 3. Холодная объемная штамповка/ Под ред. Г.А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1987. -384 с.
3. Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др.; Под ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.
4. Прозоров Л.В., Костава А.А., Ревтов В.Д. Прессование металлов жидкостью высокого давления. – М: Машиностроение, 1972. – 152 с.
5. Уральский В.И., Плахотин В.С., Шефтель Н.И. и др. Деформация металлов жидкостью высокого давления. – М: Машиностроение, 1977. – 277 с.
6. Черный Ю.Ф., Спусканюк В.З., Лядская А.А. и др. Гидропрессование инструментальных сталей. – Киев: Техника, 1987.–216с.
7. В.А. Белошенко, В.Н. Варюхин, В.З. Спусканюк Теория и практика гидроэкструзии. – Киев: Наукова думка, 2007, - 246с.
8. Черный Ю.Ф., Калужный В.Л., Фоменко В.А., Воронин Н.И. Способ выдавливания фасонных изделий. А.С. СССР. № 1738409. –Опубл. в Бюл. № 21, 1992 г.
9. Соловцов С.С. Безотходная резка сортового проката в штампах. – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.