

УДК 621.77

Г. А. КРОТЕНКО, канд. техн. наук., доц., НТУ «ХПІ»**АНАЛІЗ НОВИХ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИДАВЛЮВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ**

Стаття присвячена розробки методиці розрахунку процесу видавлювання з квадратної заготовки деталі типу тонкостінних стаканів. Для цих процесів на базі варіаційного методу розроблені числові моделі, які необхідні для проектування технологічних процесів та штампів. На основі проведених досліджень розроблено технології, які дозволяють отримати тонкостінний стакан видавлюванням. Дані рекомендації щодо удосконалення конструкцій штампів.

Ключові слова: штампове оснащення, формозмінення, видавлювання, варіаційний метод, поле швидкості, тривимірна течія металу.

У різних галузях приладобудування застосовуються порожнисті деталі, а також є великий клас деталей медичного (ковпачки, кришки) і парфумерного призначення (тюбики) які можливо виготовляти переважно видавлюванням. Існує кілька способів отримання низьких заготовок різної конфігурації для ОМД [1]. Це трудомісткий і не завжди економічно вигідний процес навіть за допомогою штампування.

Спроби виготовлення низьких (коротких) заготовок різанням або зсувом круглого прокату в спеціальних штампах позитивного результату не дали [2]. Відомі прогресивні способи торцевого розкочування заготовок характеризуються недостатньо високою продуктивністю і можуть призводити до формування дефектів при розкочуванні квадратної заготовки в круглу [3,4].

Як правило, заготовки для формотвірних операцій холодного листового штампування, а також для видавлювання, коли відносна висота заготовки невелика $h = (0,1 \dots 0,2)D$ отримують вирубуванням з листа, смуги або стрічки. При цьому велика увага приділяється оптимальному розкроюванню. Відомо, що найбільший коефіцієнт використання металу при шаховому розміщенні заготовок на стрічки. Частіше для більш ефективного використання металу здійснюють дворядковий шаховий розрій (рис. 1).

Припустимо заготована має розміри які указані на рис. 2, а стрічка розкроюється із листа.

Коефіцієнт використання металу розраховується за відомої формулою [5]:

$$\eta = \frac{A \cdot n_1 \cdot n_2}{A_{\text{лист}}}, \quad (1)$$

тут A – площа заготовки, мм^2 ;

n_1 – кількість стрічок із листа, шт;

n_2 – кількість заготовок на стрічці, шт;

$A_{\text{лист}}$ – площа листа, мм^2 .

Тоді коефіцієнт використання металу для дворядкового шахового розкрою листа не перевищує: $\eta = 0,67$.

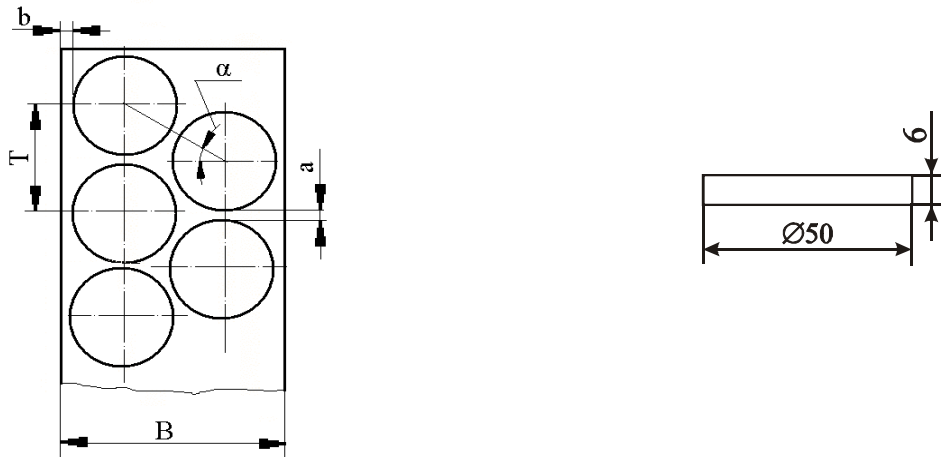


Рис. 1 – Схема дврядкового шахового розкрою

Рис.2 – Заготованка для видавлювання

Таким чином якщо заготованки мають круглу форму, то (навіть при багаторядному розкроюванні) коефіцієнт використання металу не перевищує 72%. Таке неекономне витрачання металу не можна визнати доцільним, особливо при штампуванні кольорових металів і їх сплавів

Якщо заготованки мають квадратну або шестигранну форму, то використовують розкроювання без перемичок (рис. 3). При цьому для квадратних заготованок коефіцієнт використання металу наближається до 100%.

Розглянемо розкрій металу для виготовлення виробу (тюбика або кришки) з квадратної заготованки, необхідного розміру з цим самим об'ємом як на рис. 2.

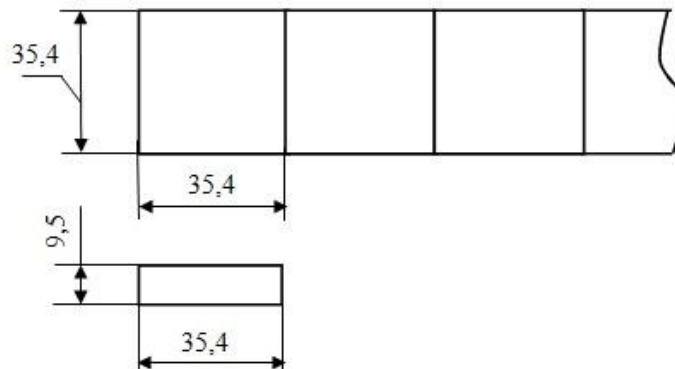


Рис. 3 – Розкрій квадратної заготованки

Коефіцієнт використання металу розрахований за формулою (1) дорівнює 98%. Таким чином, різниця коефіцієнту використання металу між варіантами розкрою дорівнює 31%.

У даній роботі пропонується ефективніший спосіб виготовлення деталей з тонкою стінкою (типу «стакан») із квадратної заготованки в циліндричній матриці з одночасним видавлюванням. Схема такої операції представлена на рис. 4. Аналіз цієї задачі, має значне практичне значення.

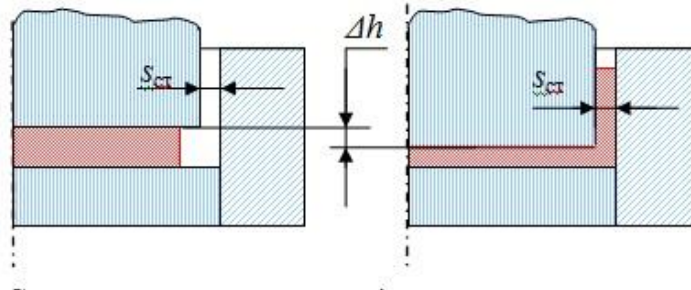


Рис. 4 – Схема видавлювання тонкостінного «стакана» з квадратної заготовки

Осередок деформації поділяємо на дві зони: I – зона «вихрової» і радіальної течії металу, II – зона чисто «вихрової» течії.

Вочевидь, що в процесі стискання кут заповнення θ_3 , який визначає зону II, збільшується, а кут α , який визначає зону I, зменшується. При цьому хорда стягується, зазор між стороною заготовки і стінкою матриці зменшується від s_0 (див. рис.5, а) до s (див. рис. 5, б) і далі до нуля.

Поділ заготовки на зони базується на результатах, які отримані в ході попередніх експериментів.

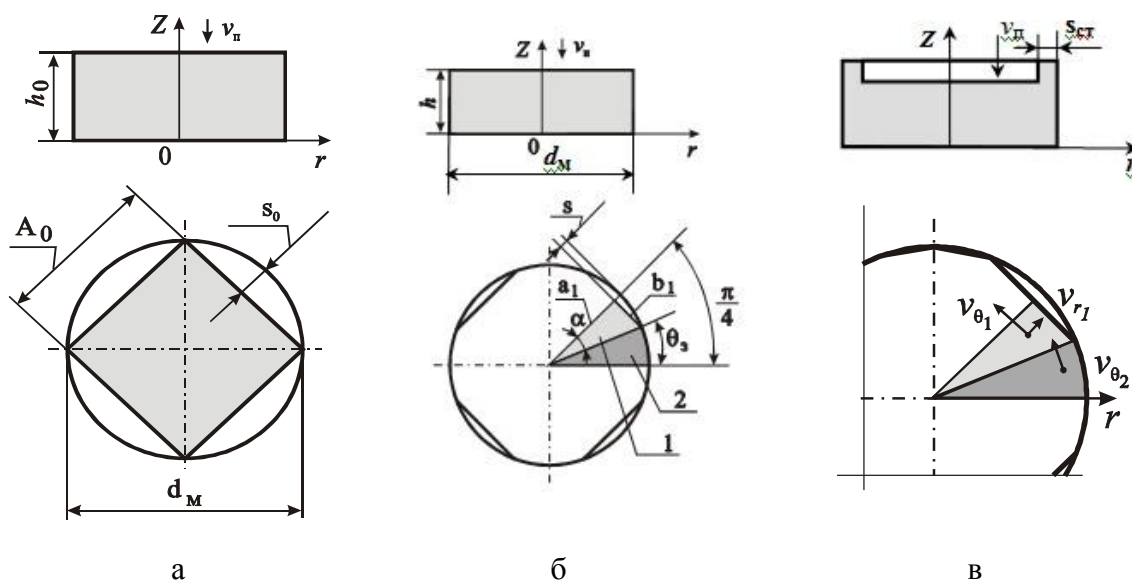


Рис. 5 – Схеми: а – стискання квадратної заготовки в циліндричній матриці, б – поділу заготовки на зони і в – течії металу в зонах 1 і 2, де s – незаповнення контуру матриці $s = r_m \cdot (1 - \cos \alpha)$, $\alpha = \frac{\pi}{4} - \theta_3$,

$$b_1 = r_m \sin \alpha, \text{ м}; a_1 = r_m \cos \alpha, \text{ м}; d_m = 2r_m = A_0 \sqrt{2}, \text{ м}$$

Було встановлено, як саме протікає процес і які підходящі функції, що описують поле швидкостей плинучого металу, можна використовувувати [6]. У зв'язку з симетрією деталі можна розглядати лише 1/8 її частини. Для зручності розрахунків на рис. 5 заготовка повернена на кут $\pi/4$.

Цей процес видавлювання характеризується яскраво вираженим «вихровим» плинучим металом, аналіз якого можливий лише на базі математичного моделювання тривимірної течії металу. Задачі, в яких має місце

тривимірна невісесиметрична течія, з достатньою точністю можуть бути вирішені енергетичним методом в циліндричній системі координат у його класичному варіаційному вигляді.

Зважаючи на граничні умови в зонах 1 і 2 (див. рис. 5), в прийнятій розрахунковій схемі плин металу може бути описаний наступними залежностями:

зона 1:

$$0 \leq z \leq h; 0 \leq r_1 \leq \frac{r_m - h_c}{\sin(\frac{\pi}{4} - \theta)}; \frac{\pi}{4} - \alpha \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}$$

$$v_{z1} = -\frac{v_n}{h} z; v_{r1} = \frac{v_n r \pi}{8h\alpha};$$

$$v_{\theta 1} = \frac{v_n r}{h} \left(\frac{\pi}{4} - \theta \right) \left(\frac{\pi}{4\alpha} - 1 \right)$$

при $\theta = \frac{\pi}{4} \rightarrow v_{\theta} = 0$, при $\theta = \frac{\pi}{4} - \alpha \rightarrow v_{\theta 2} = v_{\theta 1} = \frac{v_n r}{h} \left(\frac{\pi}{4} - \alpha \right)$.

зона 2:

$$0 \leq z \leq h; 0 \leq r_2 \leq r_m; 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{4} - \alpha$$

$$v_{z2} = -\frac{v_n}{h} z; v_{r2} = 0; v_{\theta 2} = \frac{v_n r}{h} \theta;$$

Компоненти швидкостей деформації v_r , v_{θ} , v_z , що входять в основне рівняння енергетичного методу, представляємо у вигляді так званих підходящих функцій, дотримуючи граничні умови і умов сталості об'єму. Кут α визначаємо з умови сталості об'єму початкової і деформованої заготовки:

$$\frac{1}{8} \cdot A_0^2 \cdot h_0 - \frac{\sin 2\alpha}{4} - 0,5 \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \alpha \right) = 0 \quad (2)$$

Отримані залежності для компонент швидкостей течії, швидкостей деформації, інтенсивності швидкостей деформації дають можливість описати деформований стан у всьому об'ємі заготовки і перейти до побудови математичної моделі процесу. Для цього використовуємо перше основне рівняння енергетичного методу. Звідси знаходимо відносно питоме зусилля деформації \bar{p} :

$$\bar{p} = \frac{1}{v_n \sigma_s A_3} \cdot \sum_{i=1}^8 N_i \quad (3)$$

Тут N_i – потужності внутрішніх сил опору деформації, контактної тертя і зсуву, які обчислені для кожної із зон деталі, Н·м/с;

v_n – швидкість пуансона, м/с;

σ_s – напруження течії заготовки, Н/м²;

A_3 – площа заготовки, яка відповідає певному моменту деформації і легко визначається з умови сталості об'єму:

$$A_3 = A_0 h_0 / (h_0 - \Delta h_3), \text{ м}^2 \quad (4)$$

Співвідношення (3) є функція властивостей матеріалу, що деформується (σ_s), розмірів заготовки (A_3 і Δh) і інструменту (r_m), умов тертя на контактних

поверхнях матриці і пуансона (μ_1 і μ_2). Це співвідношення є неявна функція кута α , яку можна розглядати як математичну модель процесу стискання квадратної заготовки в циліндричній матриці. Отримана функція не має аналітичного рішення відносно α , тому вирішуємо її чисельно за допомогою пакету MathCAD.

Проведений аналіз процесу заповнення матриці при стисканні заготовки. Розрахунок незаповнення контуру матриці s залежно від кута заповнення порожнини матриці θ_3 наданий на рис.6.

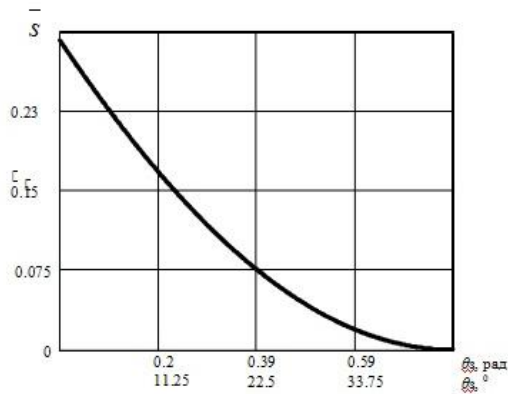


Рис. 6 – Графік залежності ступеня заповнення матриці \bar{s} в від кута заповнення θ_3

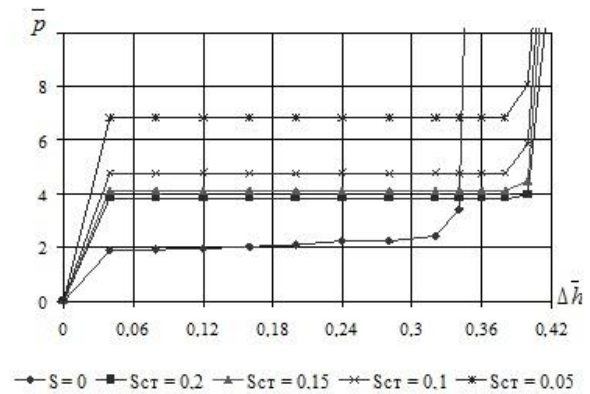


Рис. 7 – Графік залежності відносного питомого зусилля деформації заготовки \bar{p} від відносного ходу пуансона $\Delta \bar{h}$ для різних товщин стінки

Силовий режим процесу, що представлений у вигляді залежності відносного питомого зусилля деформації \bar{p} від відносного ходу пуансона $\Delta \bar{h}$ при $\mu = 0.08$ показаний на рис. 7. Тут нижні криві описують тривимірну течію квадратної заготовки, а верхня – видавлювання стаканів з круглої заготовки (коли $\theta_3 = 45^\circ$) за традиційною схемою.

Силовий режим видавлювання квадратної заготовки в круглій матриці принципово відрізняється від силового режиму видавлювання круглої заготовки круглим пуансоном. У першому випадку зусилля безперервно збільшується (рис. 8).

У другому випадку має місце досить розвинена стаціонарна стадія, протягом якої зусилля залишається постійним. Це значно спростило експериментальне дослідження: потрібно було тільки визначати зусилля стаціонарній стадії для різних ступенів деформації (для різних товщин стінок деталей, які видавлювали). Тому використовували метод безпосередніх вимірів зусилля деформації за допомогою машини УІМ-50.

Результати експериментального дослідження представлені на рис. 9. На осі ординат показано відносне питоме зусилля деформації $\Delta \bar{p}$ (безрозмірна критеріальна величина).

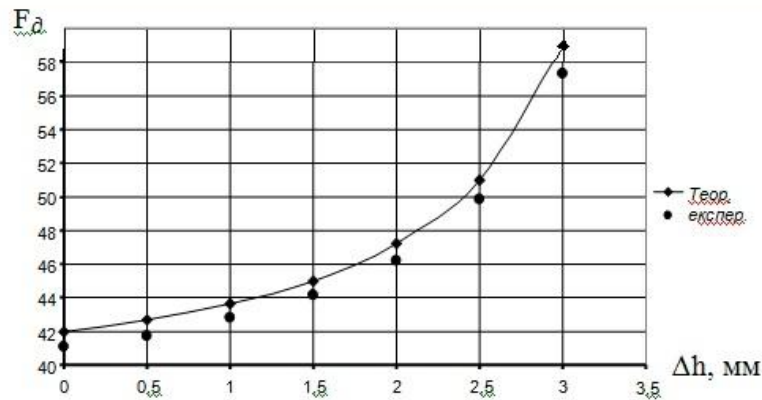


Рис. 8. Силовий режим деформації квадратної заготовки в круглій матриці при $h_0 = 6,5$ мм; матеріал – свинець; • – експеримент

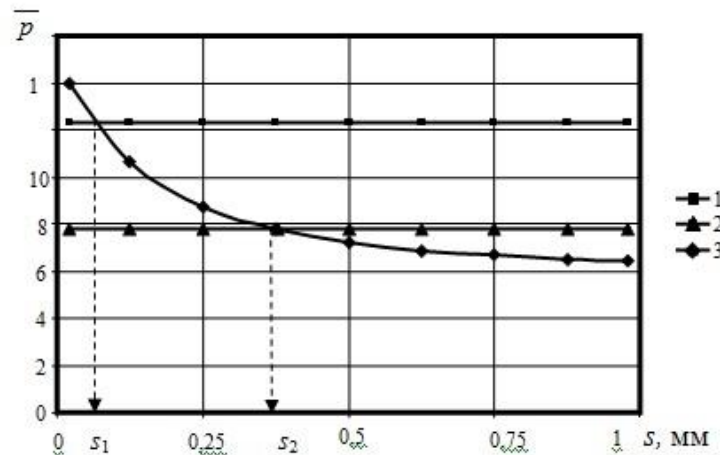


Рис. 9. Графіки залежностей:

- 1 – $p = f(s_1)$ – видавлювання стакану з товщиною стінки $s_1 = 0,25$ мм;
- 2 – $p = f(s_2)$ – видавлювання стакану з товщиною стінки $s_2 = 0,50$ мм;
- 3 – $p = f(s)$ – осадка квадратної заготовки $s = 0$ мм

Як видно на графіку, чим тонше стінка ($s_1 = 0,25$ мм), тим вище значення відносного питомої зусилля деформації \bar{p} – це відповідає теоретичним розрахункам. Чітко видно перехід від енергетично вигіднішої вихрової течії при видавлюванні тонкостінного стакану з квадратної заготовки в круглій матриці на початковому етапі при заповненні порожнини матриці, до енергетично більш вигідному радіальному на заключній стадії при видавлюванні вже з круглої заготовки. Це також відповідає результатам, отриманим при теоретичному аналізі процесу. Важливий наслідок з проведених досліджень – можливість видавлювання деталей типу тонкостінних стаканів з квадратної заготовки. Ця можливість впливає з аналізу математичної моделі процесу заповнення круглої порожнини (див. співвідношення 4) і рис. 9, де показані графіки залежності відносного питомої зусилля деформації при вихрової і радіальної течії металу. На основі проведених теоретичних досліджень пропонується новий теоретично обґрунтований варіант технологічного процесу і конструкція штампа для виготовлення заготовки і видавлювання тонкостінної деталі при тривимірної (вихрової) течії металу.

Незважаючи на те, що круглі заготовки, отримані осадкою з квадратної, вимагають введення ряду додаткових операцій, даний спосіб економічно вигідніший навіть за рахунок економії матеріалу. Отримані таким чином круглі заготовки можна використовувати для виготовлення видавлюванням різних деталей (тюбиків, ковпачків, кришок та ін.). Тому пропонується новий, економічно вигідніший, технологічний процес виготовлення тюбиків для косметичної та харчової промисловості. На рис. 10–11 представлені схеми процесу виготовлення тюбика за новою технологією. Причому залежно від ступеня деформації матеріалу, з якого необхідно видавити тюбик, кількість переходів при його виготовленні може відрізнятися.



Рис. 10. Схема процесу видавлювання тюбика з квадратної заготовки за два переходи:
а – відрізання квадратної заготовки в штампі; *б* – видавлювання тюбика

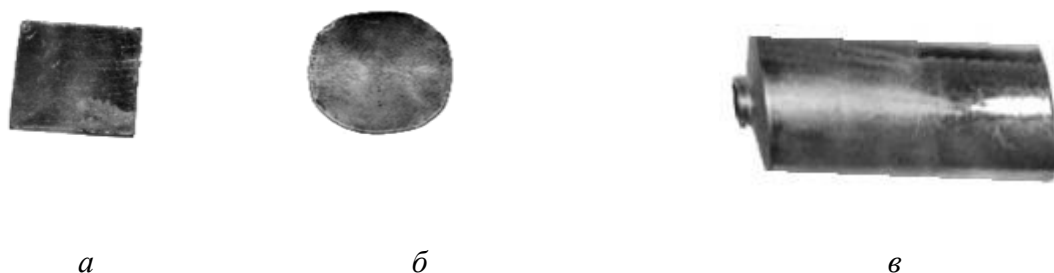


Рис. 11. Схема процесу видавлювання тюбика з квадратної заготовки за три переходи:
а – відрізання квадратної заготовки в штампі; *б* – осадка квадратної заготовки в штампі;
в – видавлювання тюбика

Пропонується конструкція штампа, що дозволяє отримати заготовку круглої форми з квадратної шляхом осадки у закритому штампі, що враховує тривимірний характер течії металу, а також отримати тонкостінний тюбик видавлюванням з квадратної заготовки за два переходи [7]. Штамп представлений на рис. 12.

Висновки. Таким чином, на основі проведених досліджень дані рекомендації щодо удосконалення технологічних процесів і конструкцій штампів дозволять отримати видавлюванням вельми складні деталі, в яких протягом металу характеризується тривимірною течією, без дефектів або з мінімальною ймовірністю їх виникнення:

1. Відомі методи аналізу процесів радіальної течії металу при видавлюванні деталей із змінною по периметру товщиною стінки характеризуються значними спрощеннями, які не дозволяють проаналізувати поля швидкостей і отримати адекватні рішення з формозміни деталей цього

класу. Тому в роботі виконано аналіз деформованого стану в процесах видавлювання деталей в умовах тривимірної течії металу.

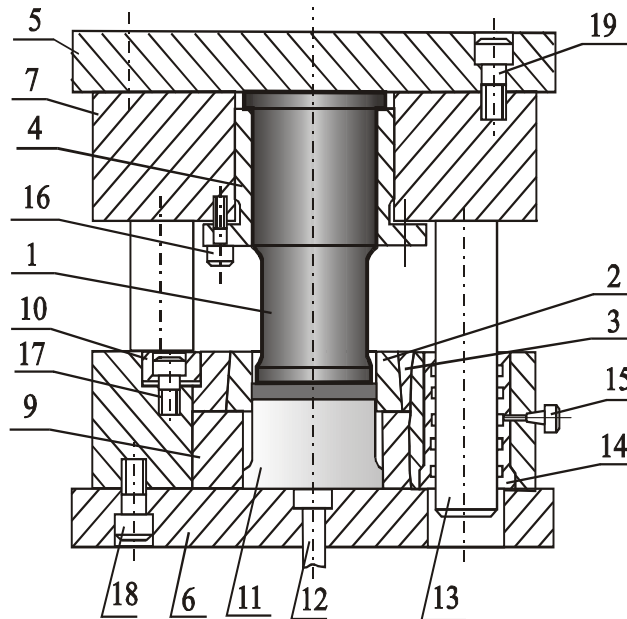


Рис. 12. – Схема штампа для осадки квадратної заготовки:

1 – пуансон; 2 – вставка; 3 – бандаж; 4 – пуансоноутримувач; 5 – плита верхня; 6 – плита нижня; 7, 8 – проміжні плити; 9 – опора матриці; 10 – кільце; 11 – виштовхувач; 12 – штовхач; 13 – колонка; 14 – втулка; 15 – маслянка; 16, 17, 18, 19 – гвинти.

2. Розроблена математична модель виготовлення круглої заготовки в умовах тривимірної течії металу. Це дало підстави для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій з удосконалення процесів видавлювання широкого класу деталей з тонкою товщиною стінки та конструкцій штампів.

3. Теоретичний аналіз процесу видавлювання за наявності декількох варійованих параметрів представляє значні труднощі обчислювання для створення програмних продуктів розрахунків формозміни і силового режиму, тому необхідно використовувати спеціальні пакети програм. Теоретичний аналіз процесу видавлювання по запропонованій методиці дозволяє з достатньою точністю визначити поле швидкостей процесу, формозміну, а також зусилля деформації при різних геометричних параметрах інструменту.

4. Застосування даної технології замість традиційної дозволило збільшити коефіцієнт використання металу на 31% і тим самим значно знизити їхню собівартість. Розроблені рекомендації дозволяють удосконалити технології виготовлення широкого класу деталей, а також конструювання штампів на базі науково обґрунтованих математичних моделей процесів видавлювання в умовах тривимірної течії металу.

Список літератури: 1. Прозоров Л. В. Холодное выдавливание тонкостенных изделий/ Л. В. Прозоров// науч. тр. Центр. НИИ технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ). – 1950. – №32. – С. 11-148 2. Соловцов С. С. Безотходная резка сортового проката в штампах/ С. С. Соловцов. – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с. 3. Матвийчук В. А. Розробка маловідходних процесів формування тонкостінних циліндричних деталей/ В. А. Матвийчук, В. М. Михалевич, В. О. Краєвский// Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні.– Краматорськ: ДДМА. – 2004. – С. 281- 286 4. Богоявленский К. Н. Специальные способы холодной

объёмной штамповки/ К. Н. Богоявленский, А. М. Дмитриев, А. З. Журавлев, А. Г. Овчинников. – М.: Машиностроение, 1986. – 42с. 5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке/ В. П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с. 6. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением/ В. А. Евстратов. – Харьков: Высшая школа, 1981. – 248 с. 7. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов/ В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа, 1987. – 144 с.

Надійшла до редколегії 01.11.2013

УДК 621.77

Аналіз нових ресурсозберігаючих технологічних процесів видавлювання тонкостінних деталей/ Кротенко Г. А. // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків; НТУ «ХПІ». – 2013. №42 (1015). – С. 102–110. Бібліогр.:7 назв.

Статья посвящена анализу процесса изготовления тонкостенных деталей выдавливанием в условиях трехмерного течения металла. Для этого процесса на базе вариационного метода рассмотрена математическая модель процесса выдавливания, предложены методика расчета формоизменения и результаты расчета силового режима изготовления из квадратной заготовки деталей типа тонкостенных стаканов, необходимые для проектирования ресурсосберегающих технологических процессов и конструкций штампов.

Ключевые слова: формоизменение, выдавливание, энергетический метод, поле скоростей, трехмерное течение металла, штамповая оснастка.

The article is devoted to the manufacturing process of thin-walled extruded parts in a three-dimensional metal flow. Based on the variational method was first developed a method of calculation of forming and power mode extrusion of the parts such as «thin-walled cans», a mathematical model of the process, the algorithms and computer programs we need for die design and manufacturing processes. Based on the developed techniques this model allows us to obtain thin-walled cans extrusion. Application of this technology instead of traditional allowed to raise quality of the parts. The results obtained in experimental studies have confirmed the adequacy of mathematical models of the extrusion of parts in a three-dimensional flow.

Keywords: tooling, forming, extrusion, variational method, velocity field, three-dimensional flow of metal.

УДК 621.777.4

В. И. КУЗЬМЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;
В. М. ГОРНОСТАЙ, ст. преп., НТУУ «КПІ», Киев;
В. О. ВАСИЛЕНКО, магистрант, НТУ «ХПІ».

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ НА ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЯ И СИЛОВОЙ РЕЖИМ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С УШИРЕНИЕМ

Работа посвящена усовершенствованию процессов холодного выдавливания профилей из конструкционных металлов и сплавов с раздачей для снижения усилий деформирования, повышения стойкости деформирующего инструмента и получения изделий повышенной надежности и долговечности. Особое внимание было уделено вопросам влияния трения на силовой режим и конечное формоизменение путём варьирования формой и шириной калибрующего пояска.

Ключевые слова: холодное прямое выдавливание с уширением, математические модели, метод конечных элементов, силовые режимы, удельные усилия, напряженно-деформированное состояние, прямоугольный профиль, качество профилей, калибрующий поясок.