

### РАЗДЕЛ III ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.9

Калюжний О. В.

#### ВІДКРИТИЙ ТА ЗАКРИТИЙ ОБТИСК ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВОК З РІЗНОЮ ВИСОТОЮ В МАТРИЦІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ

Обтиск трубчатих заготовок або порожнистих заготовок з дном використовують для зменшення поперечних розмірів та отримання zdeформованої частини різноманітної конфігурації. Найбільш розповсюдженими процесами є обтиск в матрицях конусної форми та матрицях криволінійної форми, зокрема сферичної. Таким способом отримують балони, перехідники для трубопроводів, ємності для нагрівання води, гільзи. Технологія відкритого та закритого обтиску трубчатих заготовок в основному проектується на базі експериментальних даних та виробничому досвіді [1–4]. На рис. 1 приведені схеми відкритого та закритого обтиску трубчастої заготовки. При відкритому обтиску (рис. 1а) вихідну трубчасту заготовку 1 висотою  $H_0$ , зовнішнім діаметром  $D_0$  та товщиною стінки  $S_0$  встановлюють в матрицю 2 з кутом конусу  $\alpha$ , яка розміщена на нижній плиті 3 штампу. Зусилля деформування  $P_d$  прикладають за допомогою пуансону 4, який закріплений до верхньої плити 5 штампу. Після обтиску отримується діаметр отвору  $d$ , а стінка потовщується до товщини  $S_e$ . При закритому обтиску (рис. 1, б) заготовку 1 встановлюють в матрицю 2, яка має бокову стінку для зменшення можливості втрати стійкості стінки заготовки при обтиску.

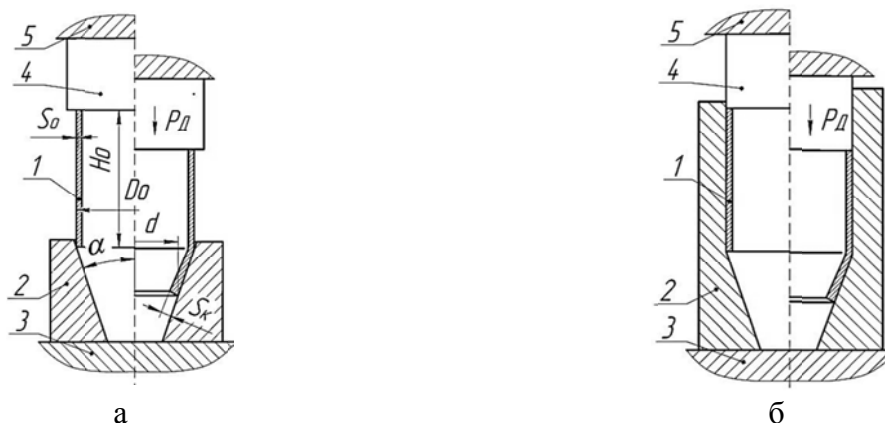


Рис. 1. Схеми обтиску трубчатих заготовок:  
а – відкритий обтиск, б – закритий обтиск

Ефективним засобом для запобігання втрати стійкості стінки заготовки при обтиску трубчатих заготовок і особливо порожнистих заготовок з дном та суттєвого підвищення коефіцієнту обтиску  $k_0 = D_0 / d$  є прикладання диференційованого протитиску на внутрішню стінку заготовки [5]. Зниження зусилля обтиску завдяки зменшенню впливу сил тертя на поверхні матриці також приводить до збільшення коефіцієнту обтиску  $k_0$ . Такий ефект забезпечує використання матриці спеціального профілю. В такій матриці виконані канавки [6] або деформуюча поверхня утворена перетином кіл постійного діаметру  $d_e$ , а центри

кіл розташовані під кутом  $\alpha$  з певним кроком  $t$  (рис. 2) [7]. Для відкритого та закритого обтиску в матрицях спеціального профілю на вирішені задачі по впливу висоти трубчастої заготовки на формоутворення виробів та коефіцієнт обтиску.

Метою роботи є виконання з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) порівняльного розрахункового аналізу відкритого та закритого обтиску трубчастих заготовок різної висоти, а також встановлення профілю матриці, який забезпечує формоутворення при обтиску без викривлення zdeформованої частини. Холодному відкритому та закритому обтиску підлягали трубчасті заготовки алюмінієвого сплаву Al 2024 (аналог сплаву Д16) з розмірами  $D_0 = 38$  міліметрів (мм) і  $S_0 = 2$  мм та висотою  $H_0 = 38, 76$  та 114 мм. Для узагальнення впливу висоти заготовки на результати обтиску використаний показник відносної висоти заготовки  $n$ , який дорівнює  $n = H / D_0$  та складає для наведених висот відповідно  $n = 1, 2$  і 3. Розрахунковий аналіз обтиску необхідно завершувати, коли починаються зміни в стінці циліндричної частини заготовки на певній стадії відкритого або закритого обтиску. Це може бути втрата стійкості стінки або потовщення стінки. Для матриці спеціального профілю необхідно встановити діаметри кіл  $d_e$  та крок їх розташування під кутом  $\alpha = 20^\circ$ , який є раціональним з точки зору мінімального зусилля формоутворення при відкритому обтиску в традиційній конусній матриці. Коефіцієнт тертя на контактуючих поверхнях прийнятий  $\mu = 0,08$ . Метал заготовки вважався жорстко-пластичним зі зміцненням, а деформуючий інструмент абсолютно жорстким. Для комп'ютерного моделювання вісесиметричної задачі використаний програмний комплекс DEFORM. Перевірку адекватності результатів розрахунків необхідно виконати експериментальними дослідженнями.

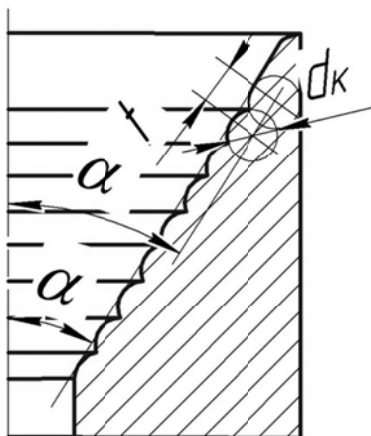


Рис. 2. Матриця спеціального профілю

Комп'ютерним моделюванням встановлено, що спеціальний профіль матриці, що утворений перетином кіл діаметром  $d_e = 4$  мм, центри яких розташовані з кроком  $t = 2$  мм під кутом  $\alpha = 20^\circ$  забезпечує рівну по довжині zdeформовану частину для всіх розглянутих варіантів обтиску. При відкритому обтиску розрахунок закінчувався на початку втрати стійкості стінки заготовки в місці переходу циліндричної частини в zdeформовану частину заготовки, а при закритому – при виникненні потовщення циліндричної частини стінки. Висота вихідної трубчастої заготовки  $H_0$  практично не впливає на вказані процеси. На рис. 3 приведені залежності зусилля обтиску від переміщення пуансонів при відкритому та закритому обтиску заготовок з  $n = 1$ . При відкритому обтиску зусилля деформування до переміщення пуансону 20,5 мм дещо менше від зусилля при закритому обтиску, що пов'язано з дією сил тертя циліндричної частини заготовки по боковій поверхні матриці в останньому випадку. Для відкритого обтиску при переміщенні пуансону 20,5 мм починається втрата стійкості стінки, а для закритого обтиску при переміщенні 25 мм – виникає потовщення стінки циліндричної частини заготовки.

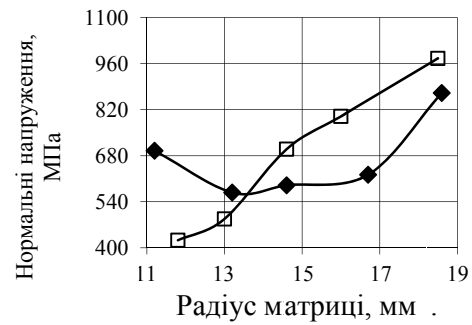
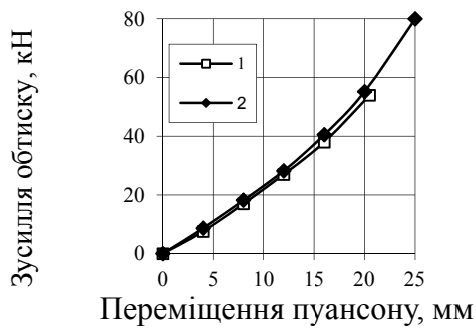
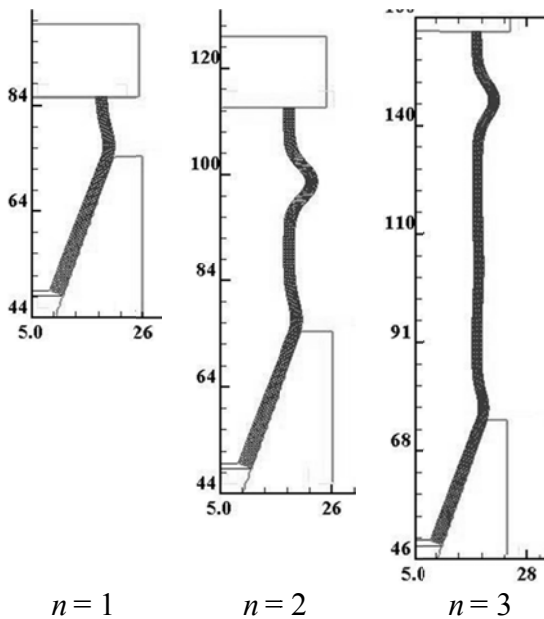


Рис. 3. Залежності зусилля обтиску від переміщення пуансонів:  
1 – відкритий обтиску, 2 – закритий обтиск

Рис. 4. Розподіл нормальних напружень на поверхні матриці:  
1 – відкритий обтиск, 2 – закритий обтиск

Розподіли нормальних напружень на деформуючій поверхні матриці, які виникають при відкритому та закритому обтиску заготовок з  $n = 1$  при максимальному значенні зусилля деформування зображені на рис. 4. При відкритому обтиску мінімальна величин напружень 423 МПа виникає в місці контакту торця zdeформованої заготовки з матрицею з подальшим збільшенням до значення 975 МПа в місці закінчення контакту заготовки з матрицею. При закритому обтиску нормальні напруження величиною 695 МПа отримані в місці контакту торця zdeформованої заготовки з матрицею та 871 МПа у зоні закінчення контакту цієї частини заготовки з матрицею. Зменшення напружень у зоні закінчення контакту при заритому обтиску пов'язане з дією сил тертя між заготовкою та циліндричною поверхнею матриці, що приводить до розвантаження вказаного місця матриці.

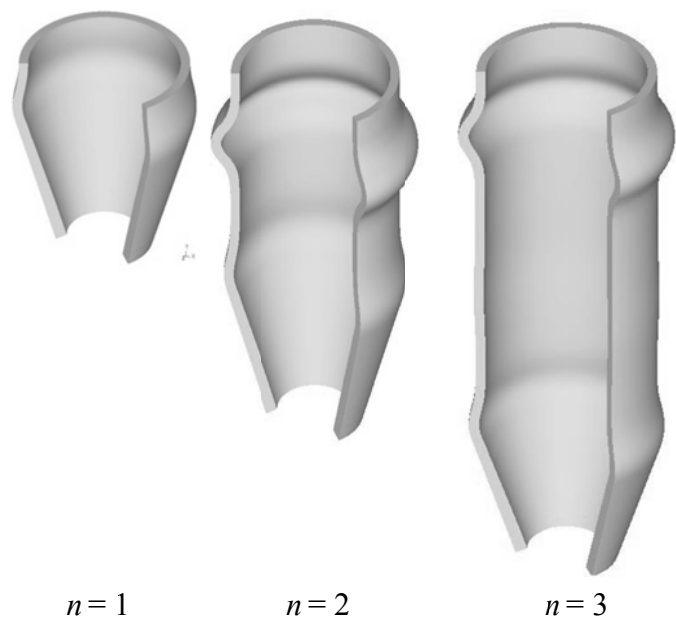


$n = 1$

$n = 2$

$n = 3$

Рис. 5. Форма та розміри заготовок в момент втрати стійкості стінки при обтиску трубчастих заготовок з різним значенням  $n$



$n = 1$

$n = 2$

$n = 3$

Рис. 6. Загальні вигляди деталей в розрізі з втратою стійкості стінок при обтиску трубчастих заготовок з різним значенням  $n$

На рис. 5 приведені форма та розміри заготовок в момент втрати стійкості стінок при обтиску трубчастих заготовок з різною величиною коефіцієнта  $n$ . Для розглянутих розмірів заготовок втрата стійкості спочатку виникає в місці переходу циліндричної частини заготовки в zdeформовану. Для заготовок з  $n = 2$  та  $n = 3$  в подальшому проходить втрата стійкості в верхній частині заготовки, яка знаходиться біля пуансону. Загальні вигляди деталей в розрізі з втратою стійкості стінки зображені на рис. 6.

Форма та розміри здеформованих частин заготовок з  $n = 1$  до втрати стійкості стінки показані на рис. 7. Тонкими лініями показані матриці. В обох випадках здеформована частина заготовки потовщується. Потовщення починається в місці переходу циліндричної частини заготовки в здеформовану частину. При відкритому обтиску в указаному місці товщина збільшується з  $S_0 = 2$  мм до 2,19 мм, при закритому обтиску – до 2,37 мм. Товщина торця здеформованої частини відповідно дорівнює 2,5 та 2,66 мм. Діаметр отвору при відкритому обтиску  $d = 17,8$  мм, при закритому –  $d = 14,6$  мм. Коефіцієнти обтиску відповідно дорівнюють  $k_0 = 2,13$  та  $k_0 = 2,6$ . Наведені значення коефіцієнтів обтиску суттєво більші в порівнянні з обтиском в традиційній конусній матриці.

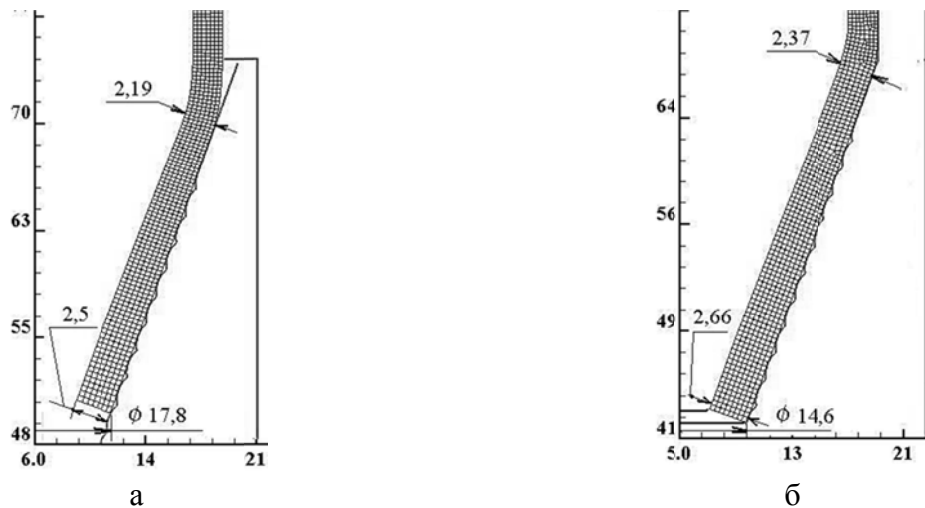


Рис. 7. Форма та розміри в міліметрах здеформованих частин заготовок з  $n = 1$ : а – відкритий обтиск, б – закритий обтиск

На рис. 8 приведені розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ , інтенсивності напружень  $\sigma_i$  та ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  в здеформованому металі після відкритого та закритого обтиску заготовок. Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією при відкритому обтиску приводить до виникнення інтенсивності деформацій величиною  $\varepsilon_i = 0,11$  в місці переходу циліндричної частини заготовки в здеформовану (рис. 8, а). З наближення до торця здеформованої частини величина  $\varepsilon_i$  збільшується до  $\varepsilon_i = 0,56-0,69$ . В результаті такого пропрацювання в здеформованій частині інтенсивність напружень досягає  $\sigma_i = 240-290$  МПа в місці переходу циліндричної частини заготовки в здеформовану та  $\sigma_i = 340-390$  МПа в зоні торця здеформованої частини (рис. 8, б). При цьому, ступінь використання ресурсу пластичності у здеформованій частині заготовки досягає максимального значення  $\psi = 0,71-0,83$  (рис. 8, в). При закритому обтиску, як було відмічено вище, досягається більший коефіцієнт обтиску. Це приводить до більш інтенсивного пропрацювання структури металу холодною деформацією в порівнянні з відкритим обтиском. Інтенсивність деформацій в місці переходу циліндричної частини заготовки в здеформовану досягає  $\varepsilon_i = 0,22-0,34$  (рис. 8, г). В зоні торця здеформованої частини  $\varepsilon_i = 0,68-0,79$ . Зростають також величини інтенсивності напружень. В третині довжини стінки здеформованої частини заготовки виникають напруження величиною  $\sigma_i = 340-390$  МПа (рис. 8, д). В останній частині –  $\sigma_i = 290-340$  МПа. Ресурс пластичності здеформованого металу досягає величини  $\psi = 0,79-0,9$  (рис. 8, ж).

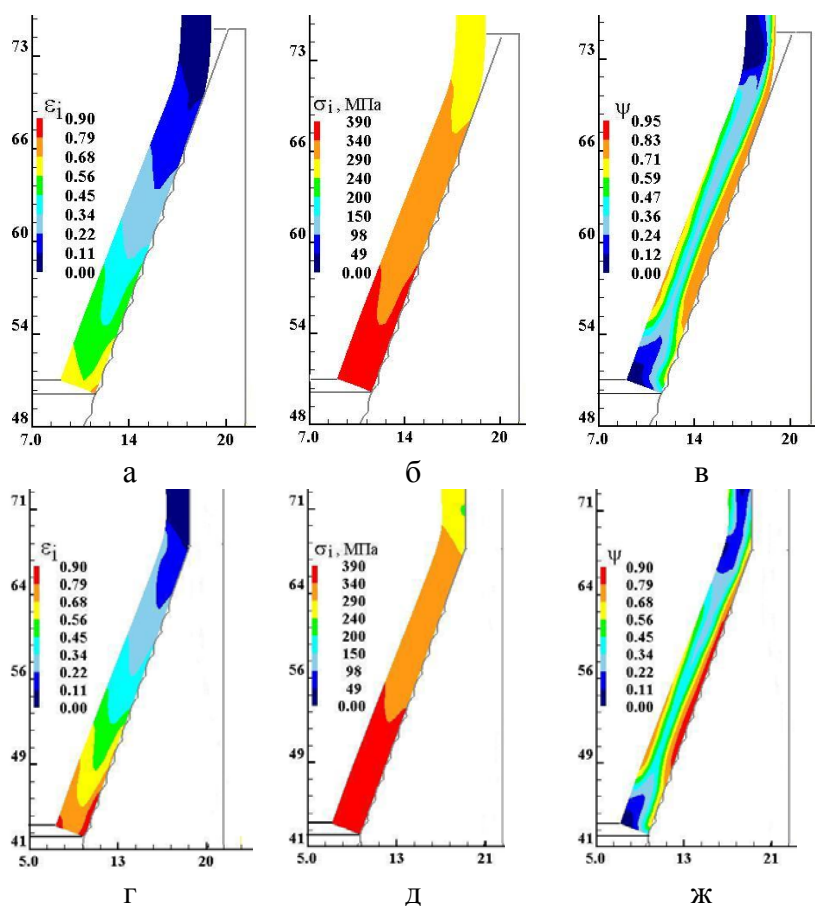


Рис. 8. Розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ , інтенсивності напружень  $\sigma_i$  та ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  в zdeформованих частинах заготовок:

а–в – після відкритого обтиску, г–ж – після закритого обтиску. Розміри по вісях в міліметрах

Експериментальні дослідження по відкритому обтиску трубчастих заготовок проводили на випробувальній машині TIRA test 2300. Результати досліджень приведені на рис. 9. Випробувальна машина, на якій встановлена заготовка в матриці спеціального профілю, зображена на рис. 9, а. Вихідна трубчаста заготовка приведена на рис. 9, б. На рис. 9, в наведена zdeформована заготовка з втратою стійкості стінки в місці переходу циліндричної частини заготовки в zdeформовану. Zдеформована заготовка в розрізі без втрати стійкості стінки показана на рис. 9, г.

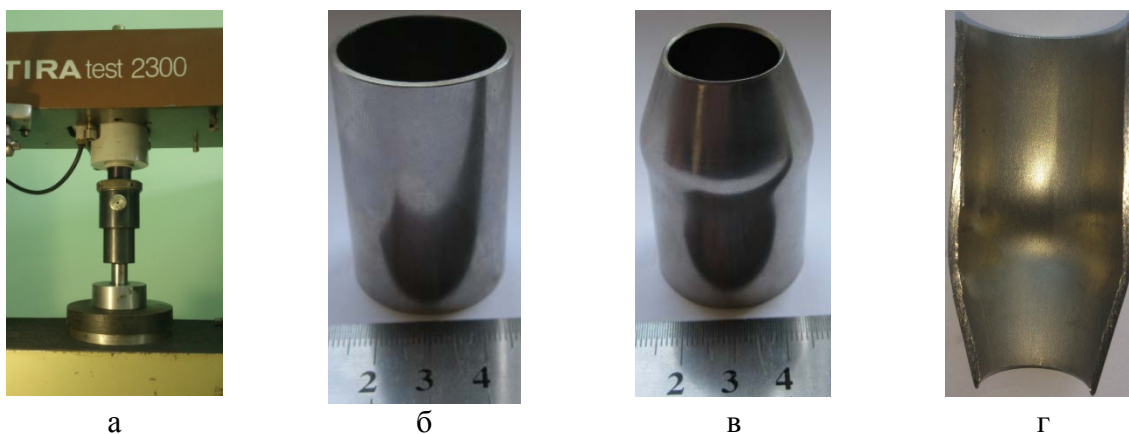


Рис. 9. Експериментальні дослідження відкритого обтиску трубчастих заготовок:

а – випробувальна машина з встановленою вихідною заготовкою в матриці, б – вихідна трубчаста заготовка, в – zdeформована заготовка з втратою стійкості стінки заготовки, г – zdeформована заготовка в розрізі без втрати стійкості стінки

## ВИСНОВКИ

Методом скінченних елементів проведений розрахунковий аналіз по відкритому та закритому обтиску трубчастих заготовок з різною висотою з алюмінієвого сплаву в матриці спеціального профілю. Встановлено, що висота заготовки не впливає на коефіцієнт обтиску, але втрата стійкості стінки заготовки проходить по різному. При висоті заготовки, яка дорівнює діаметру, втрата стійкості стінки відбувається в місці переходу циліндричної частини заготовки в здеформовану. При більшій висоті заготовки стінка втрачає стійкість в указаному місці та на циліндричній частині. Встановлені залежності зусилля обтиску від переміщення пуансону, розподіл нормальних напружень на поверхні матриці, форма та розміри здеформованих заготовок, розподіл напружень, деформацій та ступеню використання ресурсу пластичності в здеформованому металі. Проведені експериментальні дослідження відкритого обтиску підтвердили дані розрахунків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. П. Романовский – 6-е изд., перераб. И доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
2. *Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. т. 4 Листовая штамповка* / под ред. А. Д. Матвеева; ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) [и др.] – М. : Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.
3. Аверкиев Ю. А. *Холодная штамповка* / Ю. А. Аверкиев – Издательство Ростовского университета, 1984, – 288 с.
4. Патент України № 59190: МПК В21В26/02. Спосіб обтиску горловини типу балон / Калюжний В. Л., Калюжний О. В., Піманов В. В., Паляничко Є. М.; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». Опубл. 10.05.2011, бюл. № 9.
5. Калюжний О. В. Пристрій для обтиску горловини типу балон: Патент України № 68396: МПК В21В26/02 // Калюжний О. В., Піманов В. В., Солонуха В. М. та ін.; Заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». Опубл. 26.03.2012, бюл. № 8.
6. Кривошеин В. А. Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных при исследовании процесса обжима в матрице с кольцевыми канавками / А. В. Кривошеин // Известия вузов. Машиностроение. – 2011. – № 3. – С. 49–53.
7. Калюжний В. Л. Інтенсифікація обтиску трубчастих заготовок в конусній матриці / В. Л. Калюжний, І. В. Вихованець, І. П. Куліков // Збірник наукових праць. Серія галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 2 (41). – Полтава : НТУ, 2014. – С. 113–121.

## REFERENCES

1. Romanovskij V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke* / V. P. Romanovskij – 6-e izd., pererab. i dop. – L. : Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1979. – 520 s.
2. *Kovka i shtampovka: spravochnik: v 4 t. t. 4 Listovaja shtampovka* / pod red. A. D. Matveeva; red. sovet: E. I. Semenov (pred.) [i dr.] – M. : Mashinostroenie, 1985–1987. – 544 s.
3. Averkijev Ju. A. *Holodnaja shtampovka* / Ju. A. Averkijev – Izdatel'stvo Rostovskogo universiteta, 1984, – 288 s.
4. Patent Ukraini № 59190: MPK V21V26/02. Sposib obtisku gorlovini tipu balon / Kaljuzhnij V. L., Kaljuzhnij O. V., Pimanov V. V., Paljanichko E. M.; zayavnik i patentovlasnik NTUU «KPI». Opubl. 10.05.2011, bjul. № 9.
5. Kaljuzhnij O. V. Pristrij dlja obtisku gorlovini tipu balon: Patent Ukraini № 68396: MPK V21V26/02 // Kaljuzhnij O. V., Pimanov V. V., Solonuha V. M. ta in.; Zayavnik i patentovlasnik NTUU «KPI». Opubl. 26.03.2012, bjul. № 8.
6. Krivoshein V. A. Sravnitel'nyj analiz teoreticheskij i jeksperimental'nyh dannyh pri issledovanii processa obzhima v matrice s kol'cevymi kanavkami / A. V. Krivoshein // Izvestija vuzov. Mashinostroe-nie. – 2011. – № 3. – S. 49–53.
7. Kaljuzhnij V. L. Intensifikacija obtisku trubchastih zagotovok v konusnij matrici / V. L. Kaljuzhnij, I. V. Vihovanec', I. P. Kulikov // Zbirnik naukovih prac'. Serija galuzeve mashinobuduvannja, budivnictvo. Vip. 2 (41). – Poltava : NTU, 2014. – S. 113–121.

Калюжний О. В. – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПІ»

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

E-mail: [av-k@ukr.net](mailto:av-k@ukr.net)

Стаття надійшла до редакції 19.10.2014 р.