

УДК 621.7

Калюжний В. Л.
Алієва Л. І.
Куліков І. П.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЗВОРОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ І ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ З РОЗДАЧЕЮ ВИРОБІВ З ПОРОЖНИНОЮ ПОСТІЙНОГО ДІАМЕТРУ

Вироби з порожниною постійного діаметру, ступінчатою порожниною достатньо широкий тип деталей, які виготовляють зворотним видавлюванням. Для зниження зусилля штампування і питомих зусиль на пуансоні при отриманні виробів з порожниною постійного діаметру, в порівнянні зі зворотним видавлюванням, був запропонований спосіб видавлювання з роздачею [1], сутність якого полягає в тому, що діаметр вихідної заготовки визначається діаметром порожнини, а формоутворення виробів виконується прямим видавлюванням. В результаті видавлювання зовнішній діаметр виробу отримується більшим, чим діаметр вихідної заготовки. До переваг способу також можна віднести використання заготовки меншого діаметру, яку простіше отримати різанням зсувом в штампах. На рис. 1 показані схеми зворотного видавлювання та прямого видавлювання з роздачею при отриманні виробів з однаковою товщиною стінки та зовнішнім діаметром виробу.

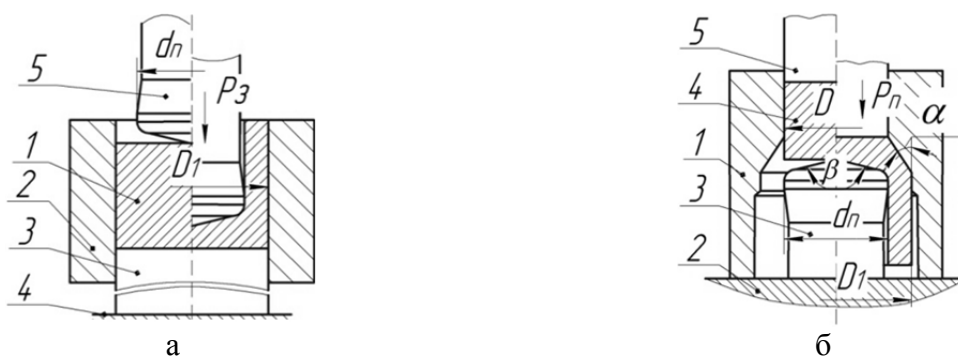


Рис. 1. Схеми зворотного видавлювання (а) та прямого видавлювання з роздачею (б)

При зворотному видавлюванні (рис. 1, а) діаметр вихідної заготовки дорівнює зовнішньому діаметру D_1 виробу. Заготовка 1 встановлена в матриці 2 на виштовхувач 3, який розміщений на плиті 4 (вихідний стан показаний ліворуч від вісі симетрії). Видавлювання виконується пуансоном 5. Виріб з аналогічними розмірами стінки можна отримати прямим видавлюванням з роздачею (рис. 1, б). Матриця 1 розміщена на плиті 2 з пуансоном 3. Заготовка 4 діаметром $D = d_n$ встановлюється на пуансон 3. Деформування виконується штоком 5. Експериментальні дослідження прямого видавлювання з роздачею наведені в роботі [2]. В джерелі [3] для вказаного процесу запропоновані наближені аналітичні залежності для визначення питомих зусиль на пуансоні та розглянуті умови залишення виробу на пуансоні при розкриванні матриці і подальшому виштовхуванні виробу.

Актуальними задачами для прямого видавлювання з роздачею є визначення напружено-деформованого стану по всьому об'єму заготовки, точного розподілу питомих зусиль на пуансоні і матриці, впливу кута пуансону β і кута матриці α на силові режими, формозміну металу та якість виробів

Метою роботи є визначення розрахунковим шляхом силових режимів, напружено-деформованого стану заготовки, точного розподілу питомих зусиль на деформуючому інструменті при зворотному видавлюванні і прямому видавлюванні з роздачею вісесиметричних виробів з порожниною постійного діаметру.

Для вирішення вказаних задач необхідно провести чисельні експерименти з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Для визначення деформованого стану заготовок і кінцевих розмірів виробів метал треба вважати пружно-пластичним зі зміцненням. При моделюванні МСЕ не виникає проблем у врахуванні всіх факторів, які впливають на формування виробів: конструктивних (геометрична форма пуансонів і матриць), технологічних (ступінь деформації, наявність неусталених стадій та локальний характер осередку деформації при деформуванні, розвантаження металу при позаконтактній деформації, тип змещення, швидкість деформування), фізико-механічних (пружні властивості металу, діаграма істинних напружень, діаграма руйнування металу).

З використанням МСЕ був виконаний порівняльний аналіз зворотного і прямого видавлювання з роздачею виробу з низьковуглецевої сталі ($\sigma_{0,2} = 220$ МПа). Розміри порожнистого виробу в обох випадках однакові: діаметр порожнини 30 мм, зовнішній діаметр виробу $Dl = 40$ мм, товщина стінки 5 мм. При прямому видавлюванні розміри вихідної заготовки були наступні: діаметр $D = 30$ мм і висота $H = 75$ мм. При зворотному відповідно – $Dl = 40$ мм і $H = 75$ мм. В обох випадках використовували пуанسونи діаметром $d1 = 30$ мм з конічним торцем (кут конусу при вершині 166 градусів), радіус заокруглення конічної поверхні в циліндричну 2 мм, довжина калібруючого пояса 2 мм.

Моделюванням встановлені енергосилові режими деформування, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, напружено-деформований стан та кінцеві розміри здеформованих заготовок. На рис. 2 показані залежності зусилля видавлювання, яке виникає на пуансоні, від переміщення деформуючого інструменту (пуансону при зворотному і штоку при прямому видавлюванні) та розподіли нормальних напружень на пуансонах і матрицях. На переході в усталену стадію зусилля прямого видавлювання досягає значення 1060 кН, зворотного – 1200 кН (рис. 2, а). Різниця в величинах зусиль склала 11,6%. На усталених стадіях процесів зусилля в обох випадках незначно зменшується.

Найбільші величини нормальних напружень на пуансонах виникають на початку радіусу заокруглення конічної поверхні в циліндричну (рис. 1, б). По всьому радіусу пуансону нормальні напруження при прямому видавлюванні менші на 200 МПа в порівнянні зі зворотним видавлюванням. Зниження складає 11,1%. Розподіли нормальних напружень по висоті матриці також при максимальному зусиллі приведені на рис. 2, в. При прямому видавлюванні висота «0» відповідає місцю контакту торця заготовки зі штоком (див. рис. 1), а при зворотному – заготовки з виштовхувачем. Найбільші величини вказаних напружень виникають напроти осередку деформації в заготовці. Причому, величини максимальних напружень при прямому видавлюванні більші на 300 МПа в порівнянні зі зворотним.

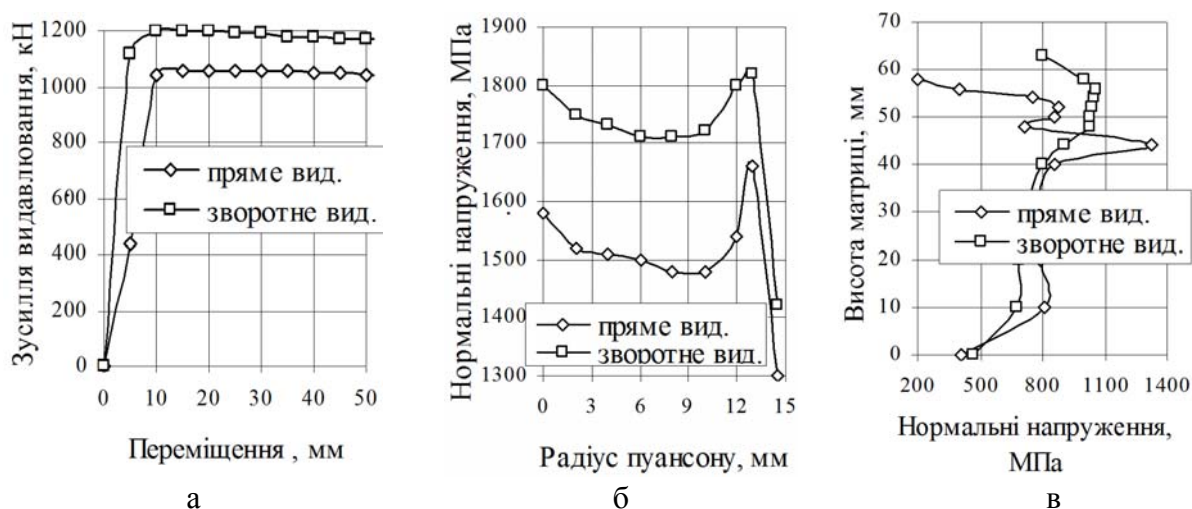


Рис. 2. Залежність зусиль видавлювання від переміщення (а), розподіли нормальних напружень по радіусу пуансонів (б) та на поверхні матриці (в)

Зменшення зусилля видавлювання при прямому видавлюванні обумовлене зміною схеми напруженого стану в осередку деформації. На рис. 3 зображений розподіли середнього гідростатичного тиску σ_{cp} в здеформованій заготовці при максимальному зусиллі видавлювання, які отримані при зворотному видавлюванні (а) та прямому видавлюванні (б). В осередку деформації при зворотному видавлюванні $\sigma_{cp} = -1280$ МПа, при прямому $\sigma_{cp} = -1000$ МПа. При виході металу в стінку виробу – відповідно $\sigma_{cp} = -532$ МПа і $\sigma_{cp} = -407$ МПа. Вказана різниця в розподілі гідростатичного тиску пов'язана з відмінностями в розподілі осевих напружень σ_z і особливо тангенціальних напружень σ_θ .

Розподіли напружень σ_θ в здеформованих заготовках, які виникають при максимальному зусиллі видавлювання, приведені на рис. 4. При зворотному видавлюванні в осередку деформації під пуансоном $\sigma_\theta = -1100$ МПа, а при прямому над пуансоном $\sigma_\theta = -860$ МПа. В об'ємі металу, який виходить в стінку виробу, при зворотному видавлюванні $\sigma_\theta = -530$ МПа, при прямому – $\sigma_\theta = -417$ МПа.

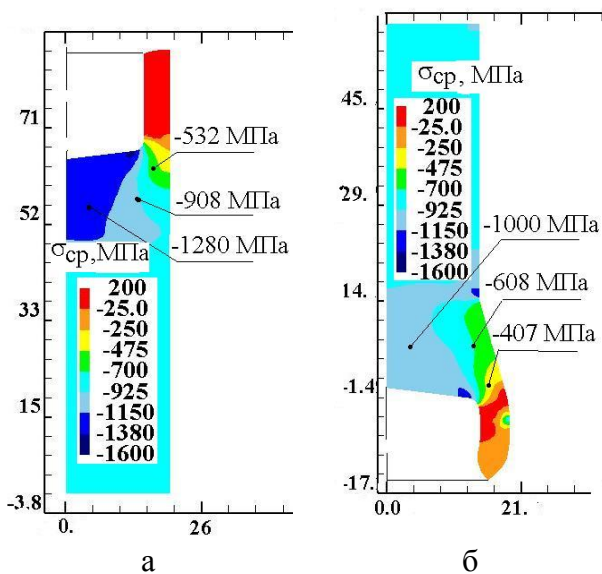


Рис. 3. Розподіли σ_{cp} по об'єму заготовки. Розміри по осях в міліметрах

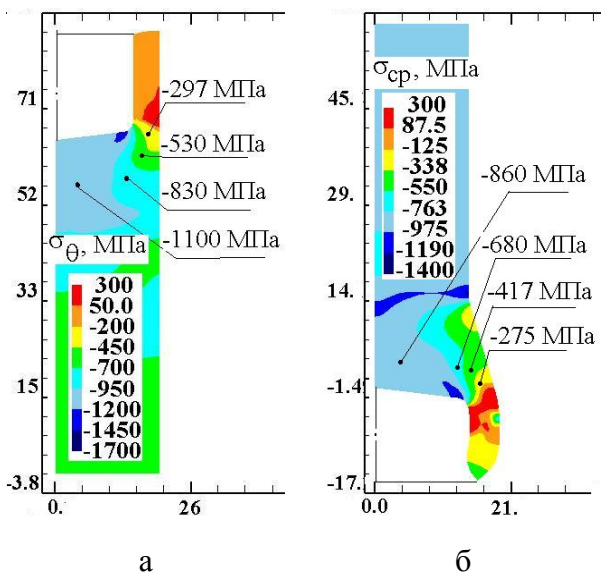


Рис. 4. Розподіли σ_θ по об'єму заготовки. Розміри по осях в міліметрах

Якість виробів. Кінцеві форма і розміри половини виробів, які отримані прямим і зворотним видавлюванням, та загальні вигляди виробів в розрізі відповідно показані на рис. 5. Вироби відрізняються формою торця стінки. Після зворотного видавлювання утворюється утяжина висотою 1 мм. Радіус отриманої порожнини склав 14,98 мм. Після прямого видавлювання утворюється конусоподібний торець стінки висотою 4 мм. Тому в останньому випадку необхідно закладати більший припуск на підрізку торця стінки. Крім того, тут має місце викривлення торця. В цьому місці радіус порожнини з 15 мм зменшується до 14,8 мм.

Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією по ширині стінок та в донній частині виробів, які отримані прямим і зворотним видавлюванням, можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій в заготовці після видавлювання. Розподіли інтенсивності деформацій ε_i у вказаних місцях зображені на рис. 6. В стінці виробу, який отриманий прямим видавлюванням, інтенсивне пропрацювання структури металу пластичною деформацією проходить на більшій частині стінки. Тому можна прогнозувати підвищені механічні властивості здеформованого металу у стінці виробу, який отриманий зворотним видавлюванням. При прямому видавлюванні осередок деформації в донній частині виробу розповсюджується на більшу глибину. При зворотному видавлюванні глибина осередку з інтенсивністю деформацій $\varepsilon_i = 0,13$ складає 0,25 від діаметру пуансону dn , а при прямому – 0,35 від dn .

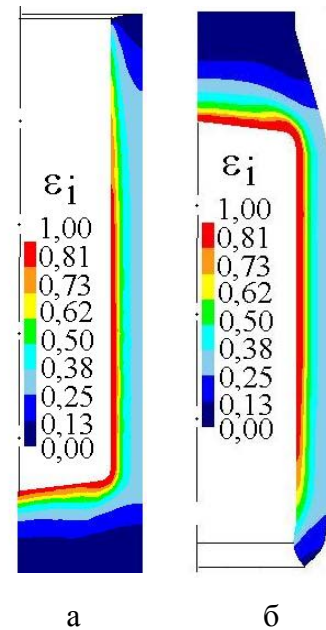
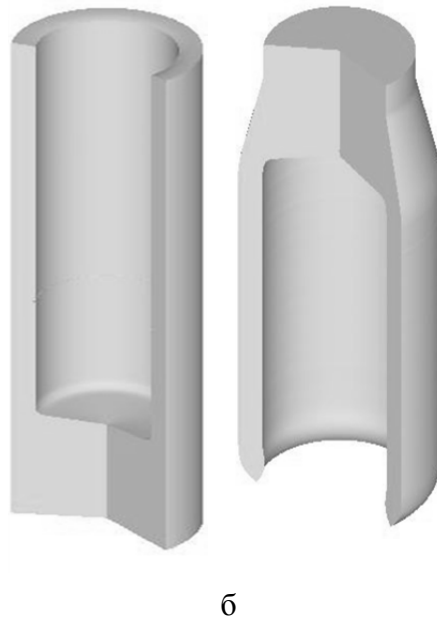
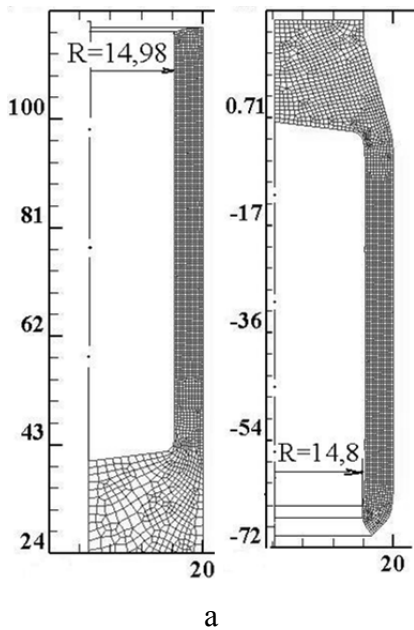


Рис. 5. Форма та розміри в міліметрах половини виробів (а) та загальні вигляди в розрізі виробів (б), які отримані прямим і зворотним видавлюванням

Рис. 6. Розподіли інтенсивності деформацій ϵ_i

Було досліджено вплив кута конусу пуансону β (див. рис. 1) на силові режими і пропрацювання структури металу пластичною деформацією. На рис. 7 приведені залежності зусилля видавлювання, яке виникає на пуансонах з різним кутом конусу β від переміщення штоку. Зменшення кута β приводить до пониження зусилля видавлювання.

Кут торця пуансону також впливає на розподіл інтенсивності деформацій в стінці і донній частині виробу. При видавлюванні пуансоном з $\beta = 180^\circ$ висота осередку деформації h в донній частині складає: $h = 0,5dn$, однак на вісі виробу біля пуансону метал деформується слабкіше, що пов'язано з впливом тертя. Зміна кута пуансону з $\beta = 180^\circ$ до $\beta = 140^\circ$ приводить до зменшення висоти осередку деформації в донній частині виробу, але збільшує пропрацювання металу пластичною деформацією по ширині стінки (рис. 8).

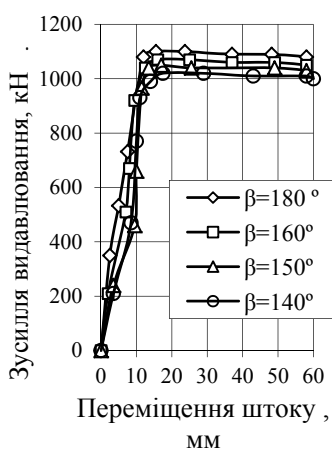


Рис. 7. Залежність зусилля від переміщення інструменту

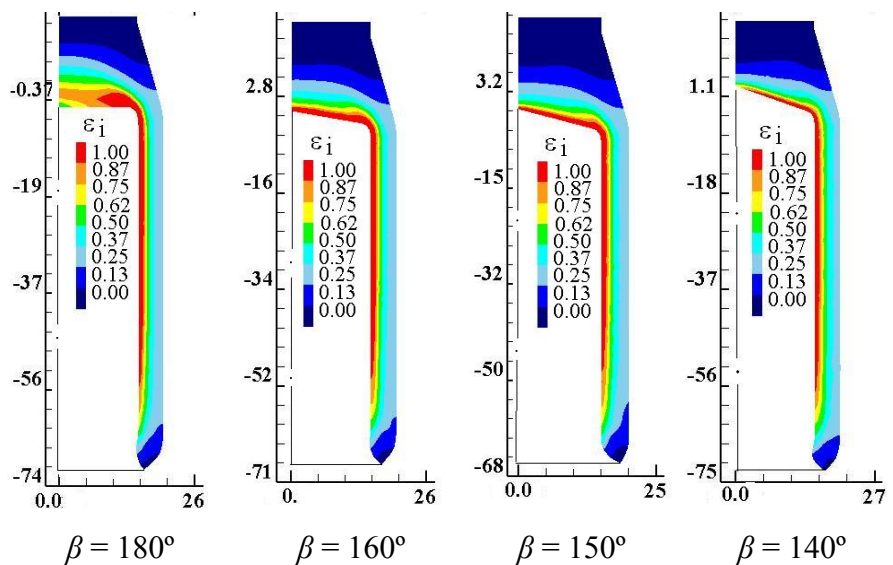


Рис. 8. Розподіли інтенсивності деформацій ϵ_i

Так при видавлюванні пуансоном з $\beta = 180^\circ$ інтенсивність деформацій $\varepsilon_i = 0,31$ розповсюджується на половину ширини стінки зі сторони зовнішньої поверхні виробу., то формоутворення пуансоном з $\beta = 140^\circ$ забезпечує вказану величину ε_i на четверту частину

Проведено розрахунковий аналіз прямого видавлювання з роздачею при різних значеннях кута нахилу матриці α (див. рис. 1). Залежність зусилля деформування на пуансоні від переміщення штоку показані на рис. 9. Збільшення величини кута приводить до зменшення зусилля видавлювання. Це пов'язано з тим, що при формоутворенні виробу стінка виробу відстає від калібруючого пояска пуансону. На рис. 10 приведені форма і розміри половини виробу на проміжній стадії видавлювання та геометрична форма пуансону і матриці. З рисунку видно відставання внутрішньої поверхні стінки від пояска пуансону, а зовнішня поверхня деформується по пояску матриці.

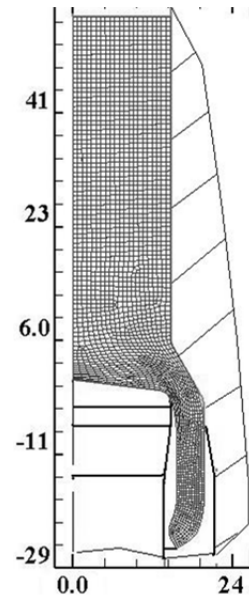
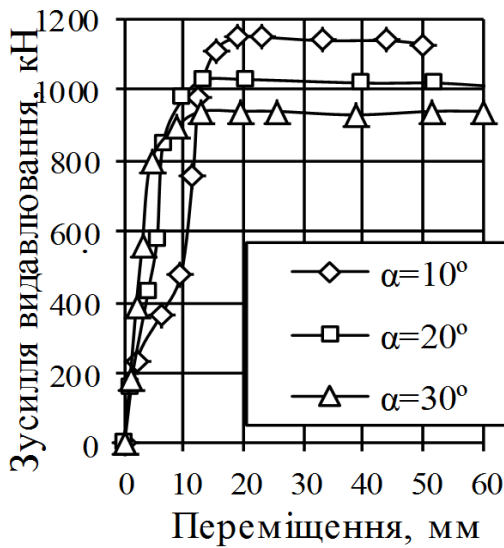


Рис. 9. Залежність зусилля від переміщення інструменту

Рис. 10. Форма і розміри заготовки

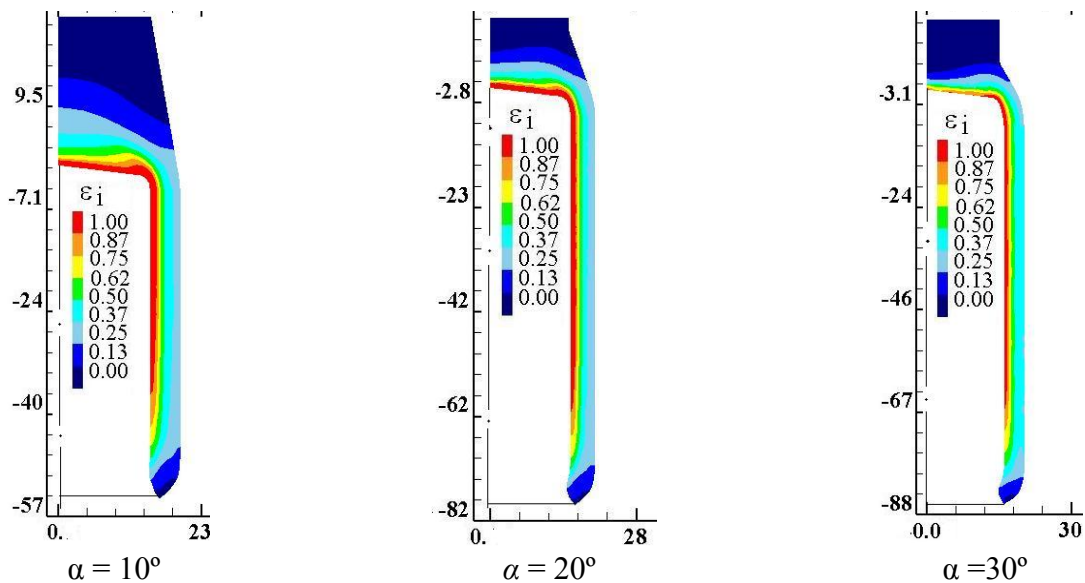


Рис. 11. Розподіли інтенсивності деформацій ε_i . Розміри по осях в міліметрах

Також кут матриці α суттєво впливає на пропрацювання структури металу пластичною деформацією в донній частині і по ширині стінки виробу (рис. 11). Зростання величини

кута приводить до збільшення величини інтенсивності деформацій в зовнішніх шарах металу стінки виробу. При $\alpha = 10^\circ$ зовнішні шари мають $\varepsilon_i = 0,31$, а при $\alpha = 30^\circ$ – $\varepsilon_i = 0,41$. В останньому випадку механічні властивості zdeформованого металу стінки будуть більші.

ВИСНОВКИ

Методом скінченних елементів створені моделі та проведений розрахунковий аналіз зворотного і прямого видавлювання з роздачею порожнистих виробів з однаковою товщиною стінки. Встановлені силові режими формоутворення, питомі зусилля на деформуючому інструменті. Зниження зусилля видавлювання і питомих зусиль на пуансоні при прямому видавлюванні склало 11 % завдяки зміні схеми напруженого стану в осередку деформації.

Встановлені кінцеві форма і розміри виробів. Вироби, які отримані прямими видавлюванням, потребують додаткової операції підрізання торця стінки.

Досліджено вплив кута торця пуансону на зусилля прямого видавлювання і якість виробів. Встановлено, що зменшення кута приводить до зниження зусилля формоутворення виробів та більш рівномірного пропрацювання структури металу пластичною деформацією по ширині стінки виробів.

На зусилля прямого видавлювання впливає кут нахилу матриці. Збільшення кута з 10° до 30° приводить до зменшення зусилля на 18,3 %, а також до більш інтенсивного пропрацювання структури металу по ширині стінки виробів та зростання механічних властивостей zdeформованого металу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Джонсон У. *Теория пластичности для инженеров* / У. Джонсон, П. Меллор ; пер. с англ. А. Г. Овчинников. – М. : Машиностроение, 1979. – 567 с.
2. Овчинников А. Г. *Прямое выдавливание цилиндрических стаканов* / А. Г. Овчинников, А. В. Хабаров // *Совершенствование процессов объемной штамповки*. – М. : МДНТП, 1980. – С. 103–108.
3. *Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки* / Ф. В. Гречников, А. М. Дмитриев, В. Д. Кухарь и др. ; под общ. ред. А. Г. Овчинникова. – М. : Машиностроение, 1985. – 184 с.
4. Калюжний В. Л. *Порівняльний аналіз прямого і зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів із мало вуглецевої сталі* / В. Л. Калюжний, Є. Ю. Чувільов // *Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості освіти : тези доповідей IV Міжнародної конференції*. – Київ : ММІ, 2013. – С. 61–63.

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

Алієва Л. І. – канд. техн. наук, доц., докторант ДДМА;

Куліков І. П. – магістр НТУУ «КПІ».

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

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

E-mail: kwl_2011@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 27.11.2013 р.