

УДК 621.7

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25

ВАРІАНТИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З ВИСТУПОМ НА ДОННІЙ ЧАСТИНІ ЗІ СТОРОНИ ПОРОЖНИНИ

В. Л. КАЛЮЖНИЙ, А. М. ПОТЯТИНИК

кафедра механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені ім. Ігоря Сікорського», Київ, УКРАЇНА
*email: kwl_2011@ukr.net

АННОТАЦІЯ Методом скінченних елементів проведений аналіз холодного зворотного видавлювання традиційного та зворотного видавлювання з роздачою вісесиметричних порожнистих виробів із виступом на донній частині зі сторони порожнини. Використана пружно-пластична модель металу, що деформується. Встановлені залежності зусилля видавлювання та зусилля виштовхування виробів із матриці від переміщення деформуючого інструмента. Визначені розподіли питомих зусиль на контактуючих поверхнях при максимальному значенні зусилля деформування. видавлювання з роздачою приводить до зменшення зусилля деформування на 13% та питомих зусиль на пуансоні, матриці і виштовхувачі. При видавлюванні з роздачою формоутворення виступу на донній частині проходить при меншому зусиллі. Виявлена температура здеформованого металу при холодному формоутворенні. Визначені кінцевий деформований стан заготовок, форма і розміри виробів з урахуванням пружної деформації після виштовхування із матриці. Встановлені всі параметри для розроблення технології – зусилля та робота деформації для вибору пресового обладнання, питомі зусилля для проектування штампового оснащення, форма і розміри виробів та інтенсивність деформації для оцінки якості виробів та прогнозування механічних властивостей здеформованого металу.

Ключові слова: зворотне видавлювання; порожнистий виріб з виступом на донній частині; метод скінченних елементів; зусилля видавлювання; питомі зусилля; напружено-деформований стан; температура здеформованого металу; форма і розміри виробів.

OPTIONS OF COLD EXPRESSION OF AXISYMMETRIC HOLLOW PRODUCTS WITH THE LEDGE ON THE GROUND PART FROM THE CAVITY

V. KALJUZHNYI, A. POTJATYNYK

Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The finite element method has carried out the analysis of cold traditional extrusion and extrusion with expanding of axisymmetric hollow products with a ledge on a ground part from a cavity. The elasto-plastic model of metal is applied. Dependences of effort of extrusion and effort of ejection of products from a matrix depending on movement of the deforming tool are established. Distributions of specific efforts on the contacting surfaces at the maximum value of effort of deformation are defined. Extrusion with expanding leads to decrease in effort of deformation by 13% and specific efforts on a punch, a matrix and the ejector. At extrusion with expanding shaping of a ledge on a ground part happens at smaller effort. Temperature of deformed metal at cold shaping is determined. The final deformed condition of preparations, a form and the sizes of products taking into account elastic deformation after ejection from a matrix are defined. All parameters for development of technology – effort and work of deformation for the choice of the press equipment, specific efforts for design of the die tooling, a form, the sizes of products and intensity of deformations for assessment of quality of products and forecasting of mechanical properties of deformed metal are set.

Keywords: the extrusion; a hollow product with a ledge on a ground part; a finite element method; extrusion effort; specific efforts; the intense-deformed state; metal temperature; a form and the sizes of products.

Вступ

При виробництві виробів спеціального призначення широко використовуються порожнисті напівфабрикати, що мають виступи на донній частині зі сторони порожнини. Такі напівфабрикати отримують процесами холодного об'ємного штампування, зокрема зворотним видавлюванням, прямим видавлюванням з роздачою або зворотним видавлюванням з роздачою. Для зменшення товщини стінки та збільшення висоти напівфабрикатів використовують подальше витягування з потоншенням через одну або дві-три послідовно

розташовані конусні матриці. На останньому переході формоутворення виробів спеціального призначення використовують операцію обтиску. При цьому на операціях витягування і обтиску необхідно забезпечити відповідні механічні властивості у здеформованому металі стінки.

На рис. 1 показаний ескіз порожнистого виробу з виступом на донній частині зі сторони порожнини та схеми його отримання зворотним видавлюванням. На рис. 1а наведений ескіз виробу із сталі 11ЮА. Крім форми виробу, при видавлюванні необхідно забезпечити відповідну межу текучості σ_s

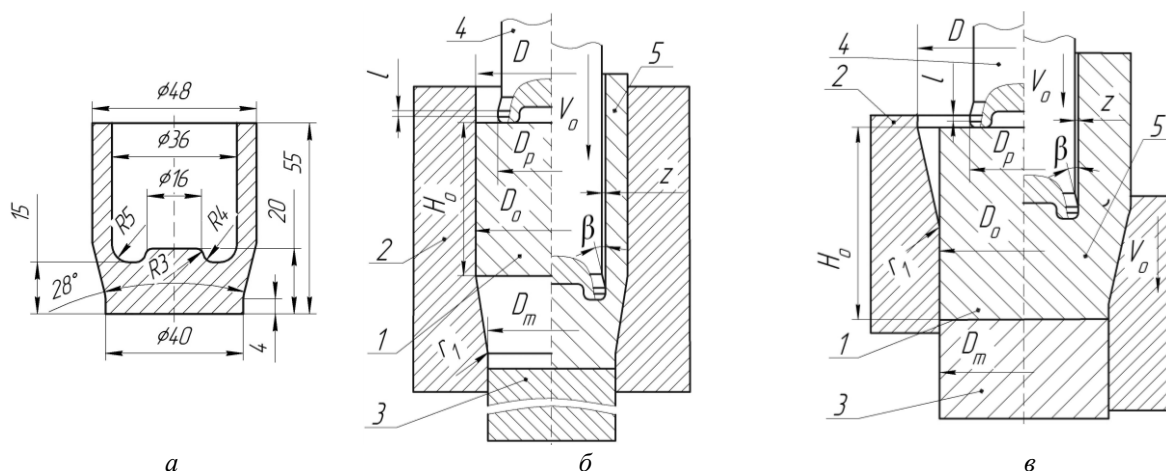


Рис. 1 – Виріб з виступом на донній частині зі сторони порожнини та схеми його отримання холодним видавлюванням: а – ескіз виробу, б – зворотне видавлювання традиційне, в – зворотне видавлювання з роздачою

здеформованого металу у стінці ($\sigma_s \geq 600$ МПа). Найбільш розповсюдженим способом виготовлення таких виробів є зворотне видавлювання традиційне (ЗВТ). Схема ЗВТ приведена на рис. 1б. На схемі ліворуч від вісі симетрії показано положення перед видавлюванням, праворуч – в кінці видавлювання. Вихідну заготовку 1 діаметром D_o і висотою H_o встановлюють в матриці 2. В матриці 2 розміщують виштовхувач 3. Формоутворення виконують за допомогою опускання пуансона 4 з отриманням виробу 5. Наведену схему ще називають комбінованим видавлюванням, тому що метал одночасно зміщується в двох напрямках: пряма течія по конусу матриці та зворотна течія в стінку. Технологія і штампове оснащення виготовлення виробів зворотним видавлюванням традиційним проектується в основному на базі виробничого досвіду і експериментальних даних [1]. При цьому практично відсутні дані по формоутворенні виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини та кінцевій формі і розмірах виробів з урахуванням пружної деформації, а також по температурі, яка виникає у здеформованому металі.

Для видавлювання вказаних виробів також використовують схему прямого видавлювання з роздачою [2]. Проведені дослідження [2-7] показали, що застосування такої схеми приводить до зниження зусилля деформування на пуансоні та підвищення його стійкості. Зменшення зусилля, в порівнянні зі зворотним видавлюванням, досягається завдяки течії металу в одному напрямку та зменшенню величини по абсолютній величині гідростатичного тиску в осередку деформації. Суттєвим недоліком прямого видавлювання з роздачою є низька продуктивність, яка обумовлена складністю видалення готового виробу із штампа. Тому ця схема не знайшла широкого розповсюдження на виробництві. Для

усунення вказаного недоліка використовують схему зворотного видавлювання з роздачою (рис. 1в) [8]. Вихідну заготовку 1 встановлюють в рухомій матриці 2 на виштовхувачі 3. Деформування заготовки 1 виконують за допомогою пуансона 4. При видавлюванні матрицю 2 опускають вниз із однаковою швидкістю з пуансоном 4. Після видавлювання отримують виріб 5.

Використання метода скінчених елементів (МСЕ) для теоретичного аналізу процесів холодного листового і об'ємного штампування дозволяє встановлювати всі необхідні дані для проектування технології і штампового оснащення, які не потребують доопрацювання експериментальними роботами. Комп'ютерне моделювання штампування порожнистих виробів з листових заготовок дозволило виявити особливості формозміни металу та встановити шляхи інтенсифікації вказаних процесів в напрямку скорочення кількості переходів виготовлення та підвищення якості виробів [9-12]. Для процесів холодного видавлювання порожнистих виробів застосування МСЕ дозволило додатково виявити зусилля виймання пуансона із здеформованої заготовки, зусилля виштовхування виробу із матриці та встановити тепловий ефект при холодній формозміні [6-8,13].

В теперішній час відсутні дані для розроблення технології зворотного видавлювання з роздачою порожнистих виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини.

Мета роботи

Метою роботи є порівняльний розрахунковий аналіз зворотного видавлювання традиційного та зворотного видавлювання з роздачою порожнистих виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини.

Викладення основного матеріалу

Для моделювання використана скінченно-елементна програма DEFORM. Метал заготовки вважався пружно-пластичним, інструмент-абсолютно жорстким. Використання такої моделі металу дозволяє визначити кінцеві форму і розміри виробу, а також виконати моделювання процесів виймання пуансона із zdeформованої заготовки та виштовхування її із матриці після видавлювання [13]. Враховано вплив тертя по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu=0,08$. Швидкість деформування складала $V_0=7$ мм/сек. Для ЗВТ діаметр вихідної заготовки $D_0=48$ мм, висота $H_0=30$ мм, а для ЗВР - $D_0=40$ мм, $H_0=43,2$ мм. Заготовку з розмірами для ЗВР можна отримувати неповністю відкритим відрізанням із круглого прокату зсувом в штампі на пресі. Вказаний метод отримання вихідних заготовок є високопродуктивним та практично безвідхідним. Розміри пуансона прийняті по розмірах порожнини та виступу на дні (див. рис. 1а). Висота пояса $l=2$ мм, величини зазору $z=0,15$ мм і кута $\beta=7^\circ$. Розміри матриці виконані по розмірах зовнішньої поверхні виробу. Радіус заокруглення $r_1=2$ мм. Було проведено моделювання процесів видавлювання, діставання пуансонів із zdeформованої заготовки та виштовхування виробів із матриці.

Обговорення результатів

Розрахункові схеми в розрізі деформуючого інструмента та заготовки на різних етапах отримання виробів по схемі ЗВТ наведені на рис. 2. На рис. 2а зображене положення на початку видавлювання. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2 і нижнім торцем спирається на конусну поверхню. В циліндричній частині матриці 2 встановлений виштовхувач 3. Зусилля деформування прикладається за допомогою пуансона 4. Положення в кінці видавлювання після опускання пуансона 4 з отриманням виробу 5 показане на рис. 2б. Після видавлювання був проведений розрахунок діставання пуансона із zdeформованої заготовки шляхом переміщення його вгору (рис. 2в). При цьому заготовка залишається в матриці. Далі було виконане моделювання виштовхування виробу 5 із матриці за допомогою переміщення виштовхувача 3. Положення в кінці виштовхування приведені на рис. 2г.

Етапи отримання виробу по схемі ЗВР показані на рис. 3. Положення на початку видавлювання показане на рис. 3а. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2 на виштовхувачі 3. Зусилля деформування прикладається за допомогою пуансона 4. Положення в кінці видавлювання з отриманням виробу 5 показане на рис. 3б, а положення після виймання пуансона із zdeформованої заготовки наведено на рис. 3в. На рис. 3г приведені положення в кінці виштовхування виробу 5 із матриці 2.

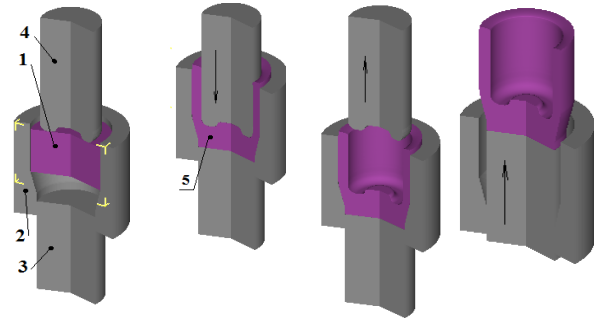


Рис. 2 - Етапи отримання виробу по ЗВТ: а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання, в – після діставання пуансона із zdeформованої заготовки, г – після виштовхування виробу із матриці

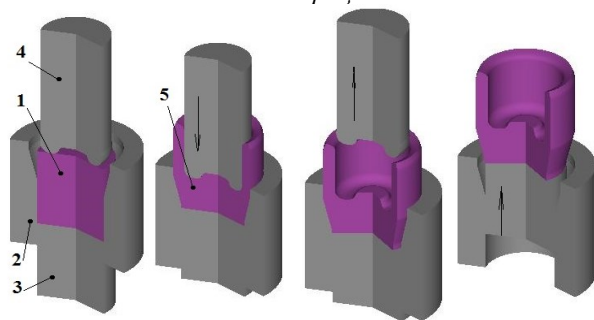


Рис. 3 - Етапи отримання виробу по ЗВР: а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання, в – після діставання пуансона із zdeформованої заготовки, г – після виштовхування виробу із матриці

Стадії формоутворення виробу по схемі ЗВТ зображені на рис. 4. Тут і в подальшому тонкими лініями показаний деформуючий інструмент, а розміри по всіх приведено в міліметрах. На рис. 4а наведена стадія, на якій практично заповнюється конусна і нижня циліндрична частина матриці, а метал частково затікає у впадину на пуансоні та стінку. Це відбувається при зусиллі 940 кН і переміщенні пуансона 18 мм. Далі, при зусиллі 2030 кН та переміщенні пуансона 21 мм, повністю заповнюється впадина на пуансоні і починається утворення стінки (рис. 5б). Кінцеві форма і розміри напівфабрикату з урахуванням пружної деформації приведені на рис. 5в. На торці стінки утворюється утяжина висотою 1,42 мм. Для забезпечення необхідних розмірів виробу треба скорегувати розміри деформуючого інструменту на величину пружної деформації, а для отримання рівного торця обробкою різанням треба збільшити висоту вихідної заготовки.

Стадії формоутворення виробу по схемі ЗВР зображені на рис. 5. На рис. 5а показане положення при заповненні впадини на пуансоні. Це відбувається при переміщенні пуансона 6 мм і зусиллі

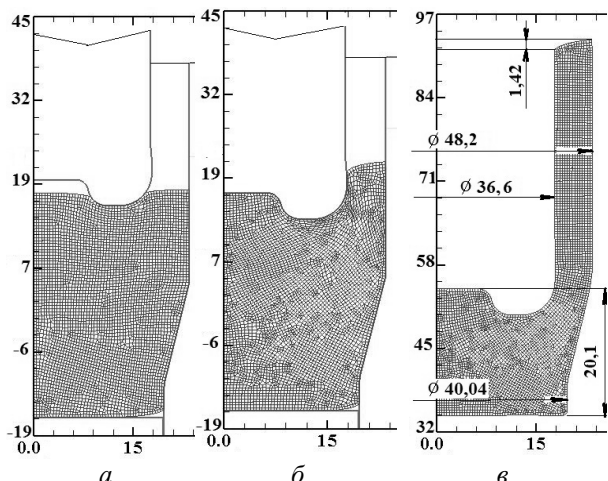


Рис. 4 - Стадії формоутворення та кінцеві форма і розміри виробу при ЗВТ: а – при заповненні конусу матриці, б – при заповненні впадини на пуансоні, в - форма і розміри виробу

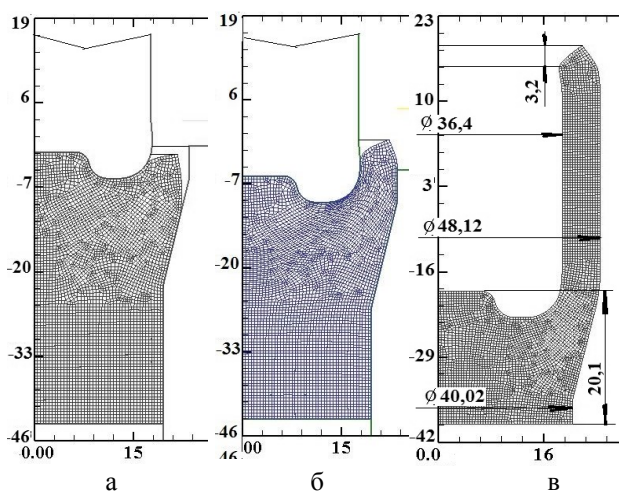


Рис. 5. Стадії формоутворення та кінцеві форма і розміри виробу при ЗВР: а – при заповненні впадини на пуансоні, б – при формоутворенні стінки, в – форма і розміри виробу

деформування 1600 кН. Утворення стінки починається при переміщенні пуансона 10 мм і зусиллі 1970 кН (рис. 5б). На рис. 5в зображені форма і розміри виробу після виштовхування із матриці. Торець стінки має зовсім іншу форму в порівнянні зі ЗВТ. Також зменшується величина пружної деформації після виштовхування виробу із матриці.

На рис. 6 зображені силові режими отримання виробів по двох схемах видавлювання. Залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона показана на рис. 6а. При ЗВТ зусилля спочатку зростає повільно на стадії заповнення конусної частини матриці, а потім відбувається інтенсивне зростання зусилля при заповненні металом впадини на пуансоні та до моменту виходу металу в зазор між калібруючим пояском пуансона і матрицею з досягненням найбільшого значення 2250 кН при переміщенні пуансона 35 мм. Формоутворення

виробу по схемі ЗВР відбувається при меншому зусиллі видавлювання (1970 кН) і переміщенні пуансона 27 мм. Зниження зусилля в порівнянні з ЗВТ складає 13 %. При такому зниженні зусилля видавлювання, по існуючих даних, стійкість деформуючого інструменту збільшується на 25 %. По цих графіках можна визначити роботу деформації. Залежності зусиль виштовхування виробів із матриці від переміщення виштовхувача показані на рис. 6б. Максимальна величина цього зусилля при ЗВТ 36 кН отримана на початку руху виштовхувача. При ЗВР найбільше значення зусилля виштовхування складає 17 кН. Для останньої схеми видавлювання потрібно значно менше переміщення виштовхувача.

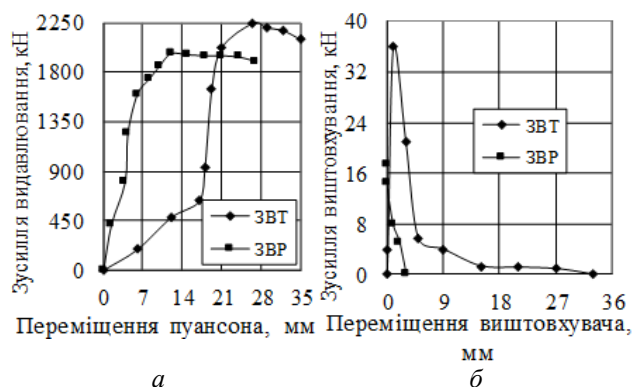


Рис. 6 - Силові режими отримання виробів по схемах ЗВТ і ЗВР: а – залежності зусиль видавлювання від переміщення пуансона, в – залежності зусиль виштовхування від переміщення виштовхувача

Моделюванням встановлений напружено-деформований стан металу при формоутворенні порожнистих виробів по схемах ЗВТ та ЗВР. Питомі зусилля на контактуючих поверхнях між zdeформованою заготовкою і інструментом можна оцінити по розподілу нормальних напружень σ_n , які виникають при максимальній величині зусилля видавлювання. Розподіли таких напружень зображені на рис. 7. Наведена половина zdeформованої заготовки, а тонкими лініями показаний деформуючий інструмент. При ЗВТ (рис. 7а) на торці пуансона отримані напруження у межах $\sigma_n=1700\div 2500$ МПа. На виштовхувачі найбільше значення цих напружень склало $\sigma_n=1900$ МПа. По висоті матриці нормальні напруження розподілені нерівномірно. На верхній циліндричній частині матриці отримано найбільшу величину $\sigma_n=1000$ МПа. На конусній частині матриці напруження досягають величини $\sigma_n=1700$ МПа. На нижній циліндричній поверхні матриці отримано $\sigma_n=1400$ МПа. Розподіл напружень σ_n на контактуючих поверхнях при ЗВР наведений на рис. 7б. Спостерігається зменшення цих напружень на всіх поверхнях. При такому розподілі нормальних

напружень можна рекомендувати виконання матриці з двох складових частин. Верхня циліндрична частина матриці повинна складатися із внутрішньої втулки і одного бандажа (однобандажованою), а конусна частина – із внутрішньої втулки і двох бандажів (двохбандажованою).

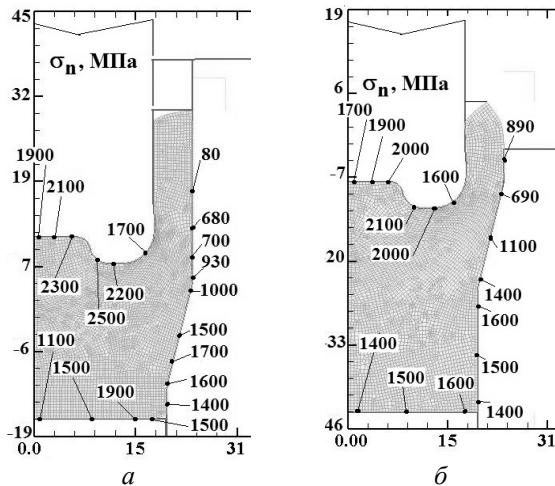


Рис. 7 - Розподіли нормальних напружень σ_n на деформуючому інструменті при максимальному зусиллі видавлювання: а – при ЗВТ, б – при ЗВР

видавлювання по схемі ЗВТ приведений на рис. 8б. У вищевказаній області температура досягає величини $T=350^{\circ}\text{C}$. Донна частина здеформованої заготовки прогривається до температури в межах $T=137^{\circ}\div 270^{\circ}\text{C}$. У стінці отримано $T=130^{\circ}\div 220^{\circ}\text{C}$. При видавлюванні по схемі ЗВР при найбільшому зусиллі видавлювання температура досягає величини $T=215^{\circ}\text{C}$ (рис. 8в), а в кінці видавлювання - $T=300^{\circ}\text{C}$ (рис.8г). Вказані величини температур при холодному видавлюванні підтверджуються даними А.Г. Овчиннікова [14].

Механічні властивості металу після видавлювання визначаються кінцевим деформованим станом. На рис. 9 показані розподіли радіальних ε_r , осьових ε_z , тангенціальних ε_{θ} деформацій та інтенсивності деформацій ε_i по об'єму отриманого виробу по схемі ЗВТ. Розподіл деформацій ε_r наведений на рис. 9а. По висоті стінки ці деформації стискаючі та змінюються від $\varepsilon_r = -0,25$ в зоні верхнього торця стінки до $\varepsilon_r = -1,3$ в місці переходу стінки у донну частину заготовки. У донній частині заготовки виникають розтягуювальні радіальні деформації величиною $\varepsilon_r = 0,55$. Осьові деформації у стінці розтягуювальні та змінюються від $\varepsilon_z = 0,45$ в зоні

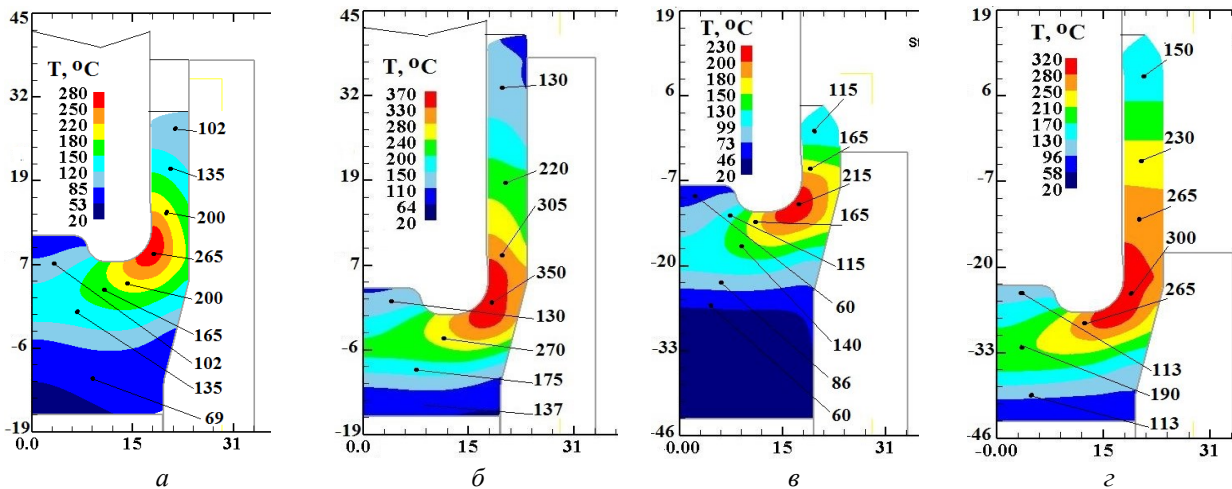


Рис. 8 – Розподіли температури у здеформованих заготовках при ЗВТ і ЗВР: а – для ЗВТ при максимальному зусиллі видавлювання, б – для ЗВТ в кінці видавлювання, в – для ЗВР при максимальному зусиллі видавлювання, г – для ЗВР в кінці видавлювання

При холодному видавлюванні підвищується температура металу, що деформується. Розподіли температури у здеформованих заготовках при максимальних величинах зусилля видавлювання та в кінці видавлювання зображені на рис. 8. На рис. 8а показаний розподіл температури у здеформованій заготовці при максимальній величині зусилля видавлювання для ЗВТ. Найбільше значення температури $T=265^{\circ}\text{C}$ виникає в області заготовки на радіусі заокруглення пуансона. При подальшому видавлюванні температура ще підвищується. Розподіл температури у здеформованій заготовці в кінці

верхнього торця до $\varepsilon_z = 1,1$ у місці переходу стінки в донну частину (рис. 9б). Стискаючі деформації величиною $\varepsilon_z = -1,3$ мають місце у донній частині виробу. Практично по всьому об'єму виробу виникають розтягуювальні тангенціальні деформації ε_{θ} (рис. 9в). По висоті стінки вони змінюються у межах $\varepsilon_{\theta} = 0,07\div 0,67$. При цьому такі деформації розподілені нерівномірно по ширині стінки. У вказаному місці вони змінюються від зовнішніх шарів металу стінки до внутрішніх шарів у межах

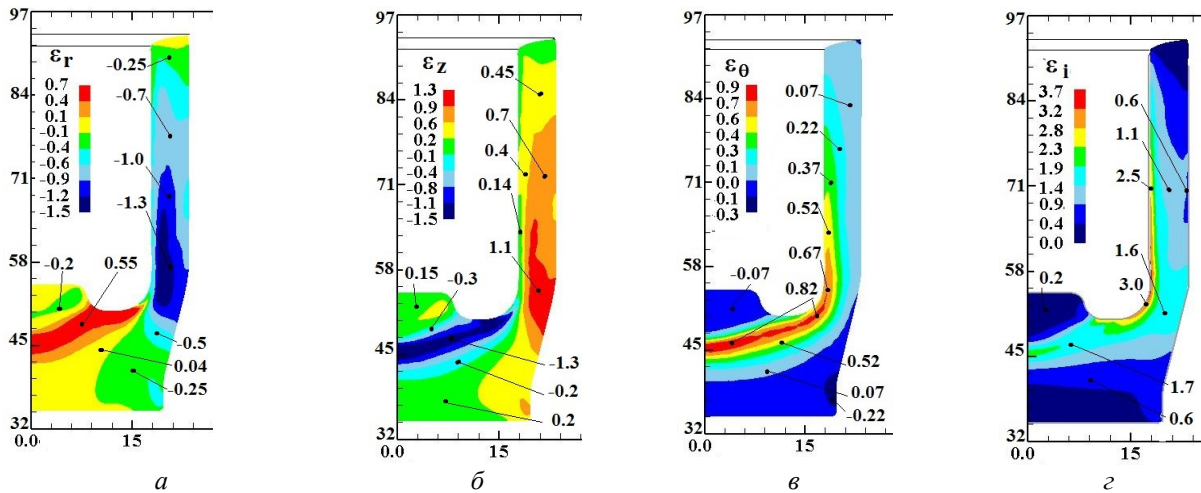


Рис. 9 – Розподіли радіальних ϵ_r , осьових ϵ_z , тангенціальних ϵ_θ деформацій та інтенсивності деформацій ϵ_i по об'єму отриманого виробу по схемі ЗВТ: а – розподіл ϵ_r , б - розподіл ϵ_z , в - розподіл ϵ_θ , з - розподіл ϵ_i

$\epsilon_\theta=0,07\div 0,67$. Також по ширині стінки виробу нерівномірно розподілена інтенсивність деформацій ϵ_i . У внутрішніх шарах металу стінки величини таких деформацій досягають значень $\epsilon_i=2,5\div 3,0$, по середині стінки - $\epsilon_i=1,1$, а у зовнішніх шарах - $\epsilon_i=0,6$ (рис. 9г). При такій величині ϵ_i по середині стінки та з використанням експериментальної діаграми істинних напружень можна прогнозувати величину межю текучості здеформованого металу $\sigma_s > 640$ МПа, що відповідає заданим вимогам до виробу.

Розподіли компонент деформацій по об'єму виробу, який отриманий по схемі ЗВР, наведені на рис. 10. Деформований стан дещо відрізняється від попереднього. Величини стискаючих радіальних деформацій у стінці знаходяться у межах $\epsilon_r = -0,55\div -1,3$, а розтягувальні деформації у донній частині

складають $\epsilon_r=0,45$ (рис. 10а). Осьові розтягувальні деформації у стінці мають найбільшу величину $\epsilon_z=0,78$ (рис. 10б). Стискаючі деформації величиною $\epsilon_z=-1,65$ виникають у донній частині. Розтягувальні тангенціальні деформації по ширині стінки досягають значень у межах $\epsilon_\theta=0,22\div 0,75$ (рис. 10в). На рис. 10г наведений розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i . У внутрішніх шарах металу стінки отримано $\epsilon_i=3,3$, по середині стінки та у зовнішніх шарах - $\epsilon_i=1,09$. Має місце більш рівномірне пропрацювання структури металу пластичною деформацією по ширині стінки в порівнянні зі схемою ЗВТ. Тут також можна прогнозувати межю текучості здеформованого металу стінки не менше 640 МПа.

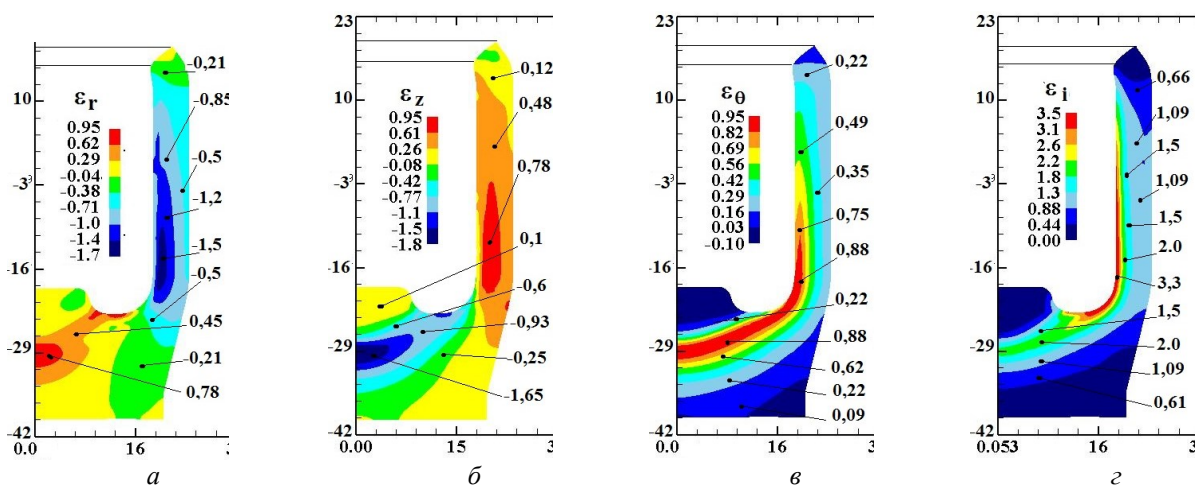


Рис. 10 – Розподіли радіальних ϵ_r , осьових ϵ_z , тангенціальних ϵ_θ деформацій та інтенсивності деформацій ϵ_i по об'єму отриманого виробу по схемі ЗВР: а – розподіл ϵ_r , б - розподіл ϵ_z , в - розподіл ϵ_θ , з - розподіл ϵ_i

Висновки

1. Методом скінченних елементів проведено моделювання холодного видавлювання порожнистих виробів з виступом у донній частині зі сторони порожнини по схемах зворотного видавлювання традиційного та зворотного видавлювання з роздачою.

2. Встановлені залежності зусиль видавлювання та зусиль виштовхування виробів із матриці від переміщення деформуючого інструмента. При видавлюванні по схемі ЗВР зусилля деформування менше на 13%. Також знижуються величини питомих зусиль на контактуючих поверхнях заготовки з інструментом.

3. Встановлені температура здеформованого металу та кінцевий деформований стан по об'єму виробів. З рахуванням пружної деформації виявлені форма і розміри виробів після виштовхування із матриці.

4. Зпрогнозовані величини меж текучості здеформованого металу у стінках виробів. Для реалізації на виробництві отримання таких виробів можна рекомендувати схему зворотного видавлювання з роздачою.

Список літератури

1. Ковка и объемная штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: **Е. И. Семенов** (пред.) и др. – Т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. **Г. А. Навроцкого**. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
2. **Джонсон, У.** Теория пластичности для инженеров. / **У. Джонсон, П. Б. Меллор**. Пер. с англ. А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с
3. **Овчинников, А. Г.** Прямое выдавливание цилиндрических стаканов / **А. Г. Овчинников, А. В. Хабаров**. В кн.: Совершенствование процессов объемной штамповки. – М.: МДНТП, 1980. – С. 103-108.
4. **Дмитриев, А. М.** Исследование процесса выдавливания с раздачей / **А. М. Дмитриев** // *Известия вузов. Машиностроение*. – 1984. - №4. – С. 140-148.
5. **Гречников, В. Ф.** Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки / **В. Ф. Гречников, А. М. Дмитриев, В. Д. Кухарь** и др.; Под общ. ред. **А. Г. Овчинникова**. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
6. **Калюжный, В. Л.** Сравнительный анализ процессов обратного выдавливания и прямого выдавливания с раздачей изделий с полостью постоянного диаметра / **В. Л. Калюжный, Л. И. Алиева, И. П. Куликов** // *Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов*. – Краматорск: ДГМА. – 2013. – №4(37). – С. 87-92.
7. **Калюжный, В. Л.** Определение усилий извлечения пуансона из сформированной заготовки и выталкивания заготовки из матрицы при холодном выдавливании полых изделий с разной степенью деформации / **В. Л. Калюжный, Л. И. Алиева, В. Н. Горностай** // *Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов*. – Краматорск: ДГМА. – 2016. – №1(42). – С. 90-100.
8. **Калюжный, В. Л.** Аналіз схем холодного видавлювання віссиметричних порожнистих виробів / **В. Л.**

- Калюжный, А. М. Потятиник** // *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник*. – Луцьк: НТУ. – 2017. – № 59. – С. 137-143.
9. **Калюжный, В. Л.** Повышение качества изделий в процессах отбортовки круглых отверстий в листовых заготовках и профилях / **В. Л. Калюжный, А. В. Калюжный, С. А. Пахолко** // - *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. - № 5. – С. 22-25.
10. **Калюжный, В. Л.** Комбинированная вытяжка осесимметричных изделий в матрице специального профиля / **В. Л. Калюжный, А. В. Калюжный, А. С. Запороженко** // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. - № 6. – С. 42-46.
11. **Калюжный, В. Л.** Качество изделий при холодной открытой и закрытой раздаче трубчатых заготовок из нержавеющей стали / **В. Л. Калюжный, А. В. Калюжный, Я. С. Олександренко** и др. // - *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. - № 2. – С. 54-58.
12. **Калюжный, В. Л.** Использование давления жидкости для увеличения степени деформации при холодной штамповке соединительных элементов из трубчатых заготовок / **В. Л. Калюжный, Я. С. Олександренко, И. В. Выхованец** // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. - № 5. – С. 29-34.
13. **Kaliuzhnyi, V. L.** Simulation of Cold Extrusion of Hollow Parts / **V. L. Kaliuzhnyi., L. I. Alieva, I. G. Savchinskii** // *Metallurgist*. – 2017. – Vol. 61, 5–6. – P. 359-365.
14. **Овчинников, А. Г.** Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / **А. Г. Овчинников**. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kovka y ob'emnaia shtampovka: Spravochnyk. V 4-kht. Red. совет: **E. Y. Semenov** (pred.) y dr. T. 3. Kholodnaia ob'emnaia shtampovka / Pod red. **H. A. Navrotskoho**. M.: Mashynostroenye, 1987, 384.
2. **Dzhonson, U., Mellor, P. B.** Teoriya plastychnosti dlia ynzhenеров. Per. s anhl. A.H. Ovchynnykova. M.: Mashynostroenye, 1979, 567.
3. **Ovchynnikov, A. H., Khabarov, A. V.** Priamoe vidavlyvanye tsylindrycheskykh stakanov. V kn.: Sovershenstvovanye protsessov ob'emnoi shtampovky. M.: MDNTP, 1980, 103-108.
4. **Dmytryev, A. M.** Yssledovanye protsessa vidavlyvaniya s razdachei. *Yzvestiya vuzov. Mashynostroenye*, 1984, 4, 140-148.
5. **Hrechnykov, V. F., Dmytryev, A. M., Kukhar, V. D.** i dr. Prohressyynie tekhnolohycheskye protsessi kholodnoi shtampovky. Pod obshch. red. A.H. Ovchynnykova. M.: Mashynostroenye, 1985, 184.
6. **Kaliuzhnyi, V. L., Alyeva, L. Y., Kulykov, Y. P.** Sravnytel'nii analiz protsessov obratnoho vydavlyvaniya y priamoho vidavlyvaniya s razdachei yzdelyi s polostiu postoiannoho dyametra. *Obrabotka materialov davlenyem: sb. nauch. трудов*, Kramatorsk: DHMA, 2013, №4(37), 87-92.
7. **Kaliuzhnyi, V. L., Alyeva, L. Y., Hornostai, V. N.** Opredelenye usylii yzvlacheniya puansona yz sdeformirovannoi zahotovky y vytalkyvaniya zahotovky yz matrytsi pry kholodnom vidavlyvanuu polikh yzdelyi s raznoi stepeniu deformatsyy. *Obrabotka materialov davlenyem: sb.nauch. трудов*, Kramatorsk: DHMA, 2016, №1(42), 90-100.

8. **Kaliuzhnyi, V. L., Potiatynyk, A. M.** Analiz skhem kholodnoho vydavliuvannia visesymetrychnykh porozhnistykh vyrobiv. *Naukovi notatky. Mizhvuzivskyi zbirnyk*, Lutsk: NTU, 2017, № 59, 137-143.
9. **Kaliuzhnyi, V. L., Kaliuzhnyi, A. V., Pakholko, S. A.** Povishenye kachestva yzdelyi v protsessakh otbortovki kruhlykh otversty v lystovykh zahotovkakh y profyliakh. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, 2014, № 5, 22-25.
10. **Kaliuzhnyi, V. L., Kaliuzhnyi, A. V., Zaporozhchenko, A. S.** Kombynyrovannaia vytiashka osesymetrychnykh yzdelyi v matrytse spetsyalnogo profylya. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, 2014, № 6, 42-46.
11. **Kaliuzhnyi, V. L., Kaliuzhnyi, A. V., Oleksandrenko, Ya. S.** y dr. Kachestvo yzdelyi pry kholodnoi otkrytoi y zakrytoi razdache trubchatikh zahotovok yz nerzhaveiushchei staly. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, 2015, № 2, 54-58.
12. **Kaliuzhnyi, V. L., Oleksandrenko, Ya. S., Vykhoanets, Y. V.** Yspolzovanye davleniya zhydkosti dlia uvelycheniya stepeny deformatsyy pry kholodnoi shtampovke soedynytelnikh elementov yz trubchatykh zahotovok. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, 2015, № 5, 29-34.
13. **Kaliuzhnyi, V. L., Alieva, L. I., Savchinskii, I. G.** Simulation of Cold Extrusion of Hollow Parts. *Metallurgist*, 2017, 61, 5–6, 359-365.
14. **Ovchynnykov, A. H.** Osnovi teoryi shtampovky vydavlyvanyem na pressakh, M: Mashynostroenye, 1983, 200.

Сведения об авторах (About authors)

Калюжний Володимир Леонідович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», професор кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел.: (098) 273-44-19; e-mail: kwl_2011@ukr.net.

Vladimir Kaljuzhnyi – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Professor of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes; tel.: (098) 273-44-19; e-mail: kwl_2011@ukr.net.

Потятиник Андрій Миколайович – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», аспірант кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел.: (067) 337-10-08; e-mail: Qdx@ukr.net.

Andrei Potjatynyk – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", fellow of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes; tel.: (067) 337-10-08; e-mail: Qdx@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Калюжний, В. Л. Варіанти холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини / **В. Л. Калюжний, А. М. Потятиник** // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях.* – X. : НТУ «ХПІ», 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 3-10. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25.

Please cite this article as:

Kaljuzhnyi, V. L., Potjatynyk, A. M. Options of cold expression of axisymmetric hollow products with the ledge on the ground part from the cavity. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 26 (1302), 2, 3-10 doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Калюжний, В. Л. Варианты холодного выдавливания осесимметричных полых изделий с выступом на донной части со стороны полости / **В. Л. Калюжний, А. М. Потятиник** // *Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.* – X. : НТУ «ХПИ», 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 3-10. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25.

АНОТАЦІЯ Методом конечных элементов проведен анализ холодного обратного выдавливания и обратного выдавливания с раздачей осесимметричных полых изделий с выступом на донной части со стороны полости. Применена упруго-пластическая модель металла. Установлены зависимости усилия выдавливания и усилия выталкивания изделий из матрицы от перемещения деформирующего инструмента. Определены распределения удельных усилий на контактирующих поверхностях при максимальном значении усилия деформирования. Выдавливание с раздачей приводит до снижения усилия деформирования на 13 % и удельных усилий на пуансоне, матрице и выталкивателе. При выдавливании с раздачей формообразование выступа на донной части происходит при меньшем усилии. Выявлена температура сформированного металла при холодном формообразовании. Определены конечное деформированное состояние заготовок, форма и размеры изделий с учетом упругой деформации после выталкивания из матрицы. Установлены все параметры для разработки технологической оснастки, форма и размеры изделий и интенсивность деформаций для оценки качества изделий и прогнозирования механических свойств сформированного металла.

Ключевые слова: обратное выдавливание; полое изделие с выступом на донной части; метод конечных элементов; усилие выдавливания; удельные усилия; напряженно-деформированное состояние; температура сформированного металла; форма и размеры изделий.

Надійшла (received) 30.06.2018