

УДК 621.983

О.В. КАЛЮЖНИЙ, В.Л. КАЛЮЖНИЙ, С.С. СОКОЛОВСЬКА**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИТЯГУВАННЯ З ПОТОНШЕННЯМ ЗПРОФІЛЬОВАНИМ ПУАНСОНОМ ПОРОЖНИСТИХ ЗАГОТОВОК ПІСЛЯ ЗВОРОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ**

Методом скінченних елементів проведений аналіз холодного витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном порожнистих заготовок, які отримані зворотним видавлюванням. Бокова поверхня такого пуансона утворена перетином торів з однаковими зовнішнім діаметром та діаметром кола. Тори розташовані з постійним кроком по вісі. При витягуванні метал заповнює впадини на боковій поверхні пуансона та створюється додаткове тягуче зусилля до стінки zdeформованої заготовки. Застосування зпрофільованого пуансона дозволяє зменшити кількість переходів витягування за рахунок суттєвого зменшення осьових розтягувальних напружень в стінці заготовки в порівнянні з витягуванням традиційним циліндричним пуансоном. Моделюванням встановлені зусилля витягування, зусилля знімання виробу із пуансона, розподіли питомих зусиль на пуансоні і матриці при максимальному зусиллі деформування. Також виявлені напружено-деформований стан, ступінь використання ресурса пластичності, температура zdeформованого металу та кінцева форма і розміри виробу. На основі розрахункових даних розроблена конструкція штампа для реалізації витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном.

Ключові слова: витягування з потоншенням, порожниста заготовка, зпрофільований пуансон, метод скінченних елементів, зусилля витягування, напружено-деформований стан, ресурс пластичності, штамп для витягування.

Методом конечных элементов проведен анализ холодной вытяжки с утонением спрофилированным пуансоном полых заготовок, которые получены обратным выдавливанием. Боковая поверхность такого пуансона образована пересечением торов с постоянным внешним диаметром и диаметром окружности. Тори расположены с одинаковым шагом по оси. При вытяжке металл заполняет впадины на боковой поверхности пуансона и создается дополнительное тянущее усилие до стенки сформированной заготовки. Применение спрофилированного пуансона позволяет уменьшить количество переходов вытяжки за счет существенного уменьшения осевых растягивающих напряжений в стенке заготовки по сравнению с вытяжкой традиционным цилиндрическим пуансоном. Моделированием установлены усилия вытяжки, усилия съема изделия с пуансона, распределения удельных усилий на пуансоне и матрице при максимальном усилии деформирования. Также выявлены напряженно-деформированное состояние, степень использования ресурса пластичности, температура сформированного металла и конечные форма и размеры изделия. На основе расчетных данных спроектирована конструкция штампа для реализации вытяжки с утонением спрофилированным пуансоном.

Ключевые слова: вытяжка с утонением, полая заготовка, спрофилированный пуансон, метод конечных элементов, усилие вытяжки, напряженно-деформированное состояние, ресурс пластичности, штамп для вытяжки.

The finite element method was used for carried out the analysis of ironing the hollow workpieces obtained by backward extrusion by profiled punch. The lateral surface of such a punch is formed by the intersection of tori with a constant outer diameter and diameter of the circle. The tori are arranged with the same pitch along the axis. Metal fills the depressions on the lateral surface of the punch and creates an additional pulling force to the wall of the deformed workpiece during the backward extrusion. The use of a profiled punch makes it possible to reduce the number of backward extrusion operations due to a significant decrease of axial tensile stresses in the wall of the workpiece in comparison with extrusion by traditional cylinder punch. There're identified drawing's forces, forces of removal product from the punch, the distribution of the normal stress on the punch and matrix at the maximum force of deformation. Also identified the stress-strain state, the degree of using of the resource of plasticity, temperature of deformed metal and the final shape and size of the product. Based on calculated data were the design of the stamp was designed for realization of ironing by the profiled punch.

Keywords: ironing, the hollow workpiece, profiled punch, finite element method, drawing's forces, stress-strain state, resource of plasticity, stamp for drawing.

Вступ. Високоточні порожнисті вироби з товстою донною частиною і тонкою стінкою із сталей в серійному і масовому виробництвях отримують, як правило, за дві операції холодного штампування. На першій операції з використанням процесу зворотного видавлювання або прямого видавлювання з роздачою за один перехід отримують порожнистий напівфабрикат з фаскою на донній частині та стінкою, товщина якої визначається граничним ступенем деформації [1]. Для зменшення товщини стінки та збільшення висоти виробу використовують операцію витягування з потоншенням. Для отримання стінки необхідної товщини витягування виконують за декілька переходів. При витягуванні з потоншенням кількість переходів в основному визначається величиною осьових розтягувальних напружень, які виникають у стінці zdeформованої заготовки в зазорі між пуансоном і матрицею [2–4]. Тому актуальною задачею для витягування з потоншенням є

розроблення таких схем формоутворення, які приводять до зменшення величин вказаних напружень, що приведе до скорочення кількості переходів витягування та зниження собівартості виробів. В останній час в формоутворюючих процесах листового штампування, зокрема при витягуванні, обтіску і роздачі, використовують деформуючий інструмент спеціального профіля. Застосування такого інструмента приводить до зменшення впливу сил тертя, що дозволяє збільшити ступінь деформації при формоутворенні за один перехід та зменшити кількість переходів штампування [5–10].

В роботі [11] при витягуванні з потоншенням листової заготовки малої товщини в конусній матриці застосований пуансон спеціального профіля. Показано, що такий пуансон забезпечує збільшення ступеня деформації при потонненні стінки та зменшення кількості переходів витягування при отриманні виробу. Однак на

теперішній час відсутні дані по витягуванні порожнистих заготовок зі стінкою та донною частиною, які мають велику товщину.

Витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном. Формоутворення виробу витягуванням з потоншенням зпрофільованим пуансоном із порожнистої заготовки, яка отримана зворотним видавлюванням, з позначеннями зображене на рис. 1. На рис. 1а показана схема витягування. Ліворуч від вісі симетрії наведений вихідний стан перед витягуванням, а праворуч - після витягування. Вихідну листову заготовку 1 встановлюють в матриці 2. Матриця 2 розташована на плиті 3. Для знімання виробу з пуансона в плиті 3 розміщені повзушки 4, які спираються на пружини 5.

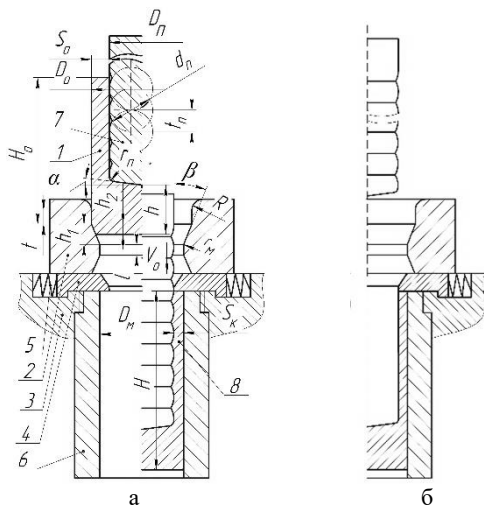


Рис. 1 – Формоутворення виробу витягуванням з потоншенням зпрофільованим пуансоном із порожнистої заготовки: а – схема витягування, б – схема знімання виробу із пуансона

Також в плити 3 закручена обойма 6. Зусилля деформування прикладають за допомогою пуансона 7. Бокова поверхня пуансона утворена перетином торів із зовнішнім діаметром D_n і діаметром кола d_n , що розташовані з кроком t_n . При деформуванні заготовки по конусній поверхні висотою h_1 та в калібруючому пояску матриці розміром l метал заповнює впадини на боковій поверхні пуансона. Це забезпечує створення додаткового тягучого зусилля пуансоном за стінку zdeформованої заготовки та суттєве зменшення осьових розтягувальних напружень в стінці, які є причиною відриву донної частини заготовки. Після витягування отримують виріб 8. При цьому повзушки 4 за допомогою пружин 5 охоплюють торець виробу 8.

Схема знімання виробу з пуансона приведена на рис. 1б. Виріб 8 після витягування залишається в обоймі 6, яка забезпечує вирівнювання утворених виступів на внутрішній поверхні виробу 8 та збереження його зовнішнього діаметра при зворотному русі пуансона.

Мета роботи. Метою роботи є встановлення параметрів витягування з потоншенням

зпрофільованим пуансоном порожнистих заготовок, які отримані зворотним видавлюванням, та визначення кінцевих форми і розмірів виробу.

Постановка задачі для визначення необхідних параметрів витягування.

Встановлення параметрів проведено шляхом створення математичних моделей з використанням метода скінчених елементів (МСЕ) та проведенням чисельних експериментів із застосуванням програми DEFORM. Використана пружно-пластична модель ізотропного металу, що деформується. Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким. Тертя на контактуючих поверхнях враховане по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,08$.

Витягуванню підлягала заготовка із сталі AISI 1010 COLD з діаметром $D_0 = 46$ мм, товщиною стінки $S_0 = 7,95$ мм, висотою $H_0 = 75$ мм, кутом $\alpha = 7^\circ$ і радіусом $r_n = 2$ мм. Зпрофільований пуансон мав розміри: $D_n = 30$ мм, $d_n = 8$ мм, $t_n = 4$ мм. Розміри матриці: $D_m = 36$ мм, $\beta = 10^\circ$, $l = 5$ мм, $R = r_m = 5$ мм, $h_1 = 28$ мм, $h_2 = 15$ мм. Швидкість деформування складала $V_0 = 2$ мм/сек.

Результати чисельного моделювання. Для порівняння результатів було проведено моделювання витягування з потоншенням вказаної заготовки традиційним циліндричним пуансоном діаметром $D_n = 30$ мм в матриці вищенаведеної форми. Розрахункові схеми витягування традиційним та зпрофільованим пуансонами зображені на рис. 2. На рис. 2а зображене положення на початку витягування традиційним пуансоном. Заготовка 1 розміщена в матриці 2. Зусилля деформування прикладають за допомогою пуансона 3. Положення в момент відриву донної частини заготовки при витягуванні традиційним пуансоном показане на рис. 2б. Руйнування zdeформованої заготовки проходить при виході донної частини з калібруючого пояску матриці. На рис. 2в наведене положення на початку витягування зпрофільованим пуансоном. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2. Під матрицею розташовані повзушки 3 для знімання виробу з пуансона. Обойма 4 необхідна для збереження зовнішнього діаметра виробу при зніманні. Положення в кінці витягування зпрофільованим пуансоном показане на рис. 2г. На рис. 2д зображене положення після знімання виробу з пуансона. Отриманий виріб залишається в обоймі і виштовхується з неї при витягуванні наступної заготовки.

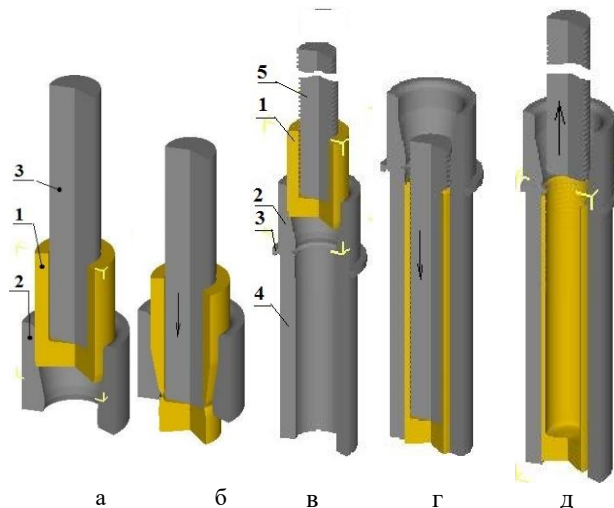


Рис. 2 – Розрахункові схеми в розрізі витягування з потоншенням традиційним та зпрофільованим пуансонами: а – вихідне положення витягування традиційним пуансоном, б – положення в момент відриву донної частини деформованої заготовки при витягуванні традиційним пуансоном, в – вихідне положення при витягуванні зпрофільованим пуансоном, г – кінцеве положення при витягуванні зпрофільованим пуансоном, д – положення після знімання виробу з пуансона

Результати моделювання витягування з потоншенням традиційним пуансоном показані на рис. 3. Тут і в подальшому тонкими лініями

наведений деформуючий інструмент, розміри по вісях наведені в міліметрах. Вище було відмічено, що при даних розмірах заготовки і деформуючого інструмента відбувається відрив донної частини деформованої заготовки (див. рис. 2б). Причиною цього є виникнення значних розтягувальних осьових напружень σ_z при витягуванні, розподіл яких у деформованій заготовці показаний на рис. 3а.

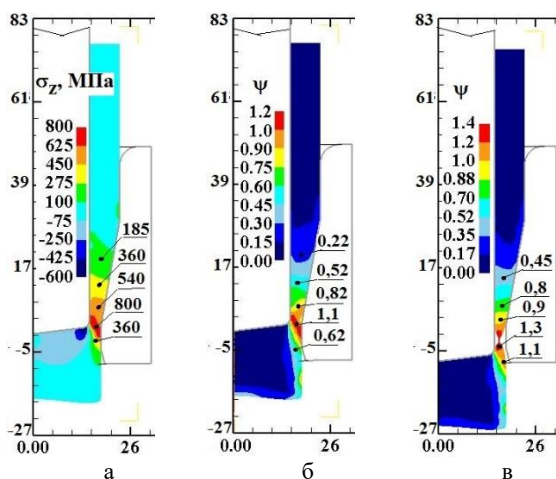


Рис. 3 – Результати моделювання витягування традиційним пуансоном: а – розподіл осьових напружень σ_z , б – розподіл ресурсу пластичності ψ , в – розподіл ресурсу пластичності при відриві донної частини. Розміри по вісях в міліметрах

При переміщенні пуансона 40 мм, в момент виходу донної частини заготовки із калібруючого пояса матриці, виникають максимальні осьові напруження σ_z . У місці переходу донної частини ці напруження досягають величин в межах $\sigma_z = 625 \div 800$ МПа. Такі величини напружень приводять до повного вичерпання ступеня використання ресурсу пластичності ψ деформованого металу у вказаному місці заготовки, який досягає максимальних величин у межах $\psi = 1,1 \div 1,2$ (при $\psi = 1$ відбувається руйнування деформованого металу). При подальшому переміщенні пуансона має місце потоншення стінки деформованої заготовки та відбувається відрив донної частини деформованої заготовки.

Далі наведені результати витягування з потоншенням вказаної заготовки зпрофільованим пуансоном. Застосування такого пуансона забезпечило формоутворення виробу без руйнування. Залежність зусилля витягування від переміщення пуансона зображена на рис. 4. Зусилля досягає максимум $P_d = 535$ кН при переміщенні пуансона 20 мм, далі зусилля зменшується до $P_d = 430$ кН при переміщенні 40 мм. З цього моменту починається усталена стадія процесу, на якій зусилля практично не змінюється до переміщення пуансона 180 мм. В кінці усталеної стадії торець стінки деформованої заготовки знаходиться на конусній поверхні матриці. Завершення витягування відбувається при зменшенні зусилля деформування.

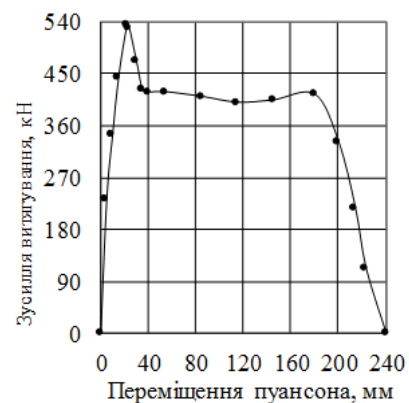


Рис. 4 – Залежність зусилля витягування від переміщення пуансона

Для проектування бандажованої матриці та пуансона необхідно знати розподіл питомих зусиль, які виникають при максимальній величині зусилля витягування. Питомі зусилля можна оцінити по розподілу нормальних напружень на контактуючих поверхнях між металом та деформуючим інструментом. Розподіл нормальних напружень σ_n при максимальному значенні зусилля витягування та температура T деформованого металу приведені на рис. 5. Максимальні величини напружень σ_n виникають на конусній поверхні матриці та

досягають величини $\sigma_n = 1600$ МПа (рис. 5а). Такі величини потребують використання банджованих матриць для реалізації витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном. При холодному формоутворенні витягуванням підвищується температура деформованого металу. Найбільшої величини температура досягає на початку усталеної стадії процесу витягування. Температура деформованого металу приведена на рис. 5б. Максимальне значення температури ($T = 58^\circ\text{C}$) має місце в області донної частини, яка контактує з матрицею. Встановлені величини температури дозволяють уточнити вимоги до змащень, які використовують при холодному витягуванні.

При витягуванні зпрофільованим пуансоном відбувається заповнення деформованим металом впадин на боковій поверхні пуансона при деформуванні заготовки по конусній поверхні та калібруючому пояску матриці (рис. 6). Це забезпечує створення додаткового тягнучого зусилля за стінку деформованої заготовки при опусканні пуансона та приводить до зменшення розтягувальних осьових напружень σ_z у стінці в зазорі між пуансоном та матрицею.

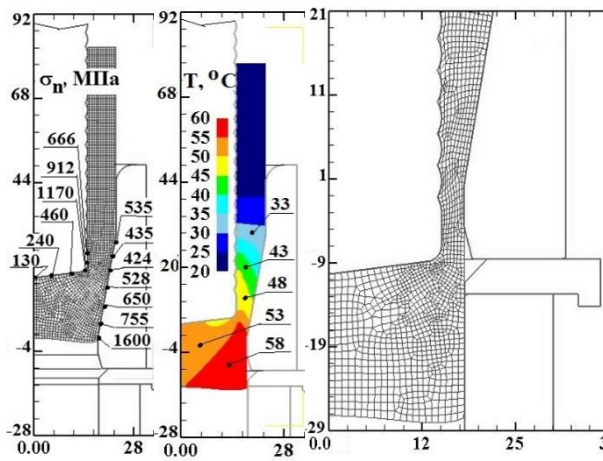


Рис. 5 – Розподіл нормальних напружень σ_n та температура T деформованого металу: а – розподіл σ_n , б – температура T

Рис. 6 – Заповнення металом впадин на боковій поверхні пуансона при деформуванні по конусній поверхні та в калібруючому пояску матриці

Розподіл напружень σ_z у деформованій заготовці при максимальному зусиллі витягування та на переході в усталену стадію, а також розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ деформованого металу на переході в усталену стадію приведені на рис. 7. При максимальному зусиллі витягування в осередку деформації розтягувальні осьові напруження знаходяться в межах $\sigma_z = 100 \div 300$ МПа (рис. 7а). У донній частині деформованої заготовки ці напруження стискаючі.

Величини розтягувальних напружень збільшуються і досягають максимальних значень на переході процесу витягування в усталену стадію (рис. 7б). У місці переходу донної частини у стінку

напруження складають $\sigma_z = 530$ МПа, що в 1,5 рази менше чим при витягуванні з потоншенням традиційним пуансоном (див. рис. 3а). При цьому напруження σ_z у зовнішніх шарах металу конусної частини деформованої заготовки мають значення в межах $\sigma_z = 150 \div 300$ МПа, а у внутрішніх шарах металу - $\sigma_z = 0.00 \div -150$ МПа. Останні величини напружень виникають в донній частині заготовки. Створена схема напружень в осередку деформації при витягуванні зпрофільованим пуансоном забезпечує зовсім інші величини ступеня використання ресурсу пластичності деформованого металу в порівнянні з витягуванням традиційним пуансоном.

Розподіл використаного ресурсу пластичності ψ на переході в усталену стадію приведений на рис. 7в. У місці переходу донної частини заготовки у стінку ресурс пластичності досягає максимального значення $\psi = 0,9$ з подальшим зменшенням по довжині конусної частини деформованої заготовки до величини $\psi = 0,2$.

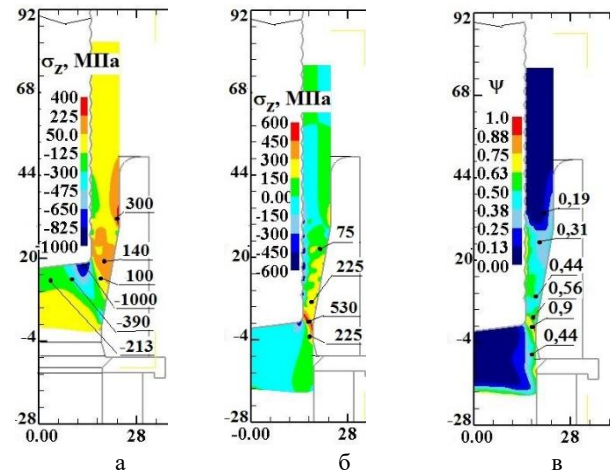


Рис. 7 – Розподіли осьових напружень σ_z у деформованій заготовці при максимальному зусиллі витягування та на переході в усталену стадію та розподіл ресурсу пластичності ψ на переході в усталену стадію: а і б – розподіли напружень σ_z , в – розподіл ресурсу пластичності ψ

Для встановлення можливості вирівнювання виступів на внутрішній поверхні виробу, які були утворені при витягуванні, проведено моделювання знімання з пуансона виробу, який розташований в обоймі. При розрахунку враховані накопичені деформації у деформованому металі, які отримані при витягуванні. При зворотному переміщенні пуансона зусилля знімання визначали на повзушках. Залежність зусилля знімання виробу від зворотного переміщення пуансона зображена на рис. 8. Максимальне значення зусилля отримане на початку знімання, що обумовлено найбільшою кількістю виступів, які заповнили впадини на боковій поверхні зпрофільованого пуансона.

В результаті моделювання знімання та вирівнювання виступів на внутрішній поверхні отримані кінцеві форма і розміри виробу. Форма і розміри виробу зображені на рис. 9. Загальний

вигляд половини виробу з розмірами приведений на рис. 9а. На рис. 9б показана форма і розміри донної частини виробу. При витягуванні відбувається викривлення торця цієї частини, яке складає 0,6 мм.

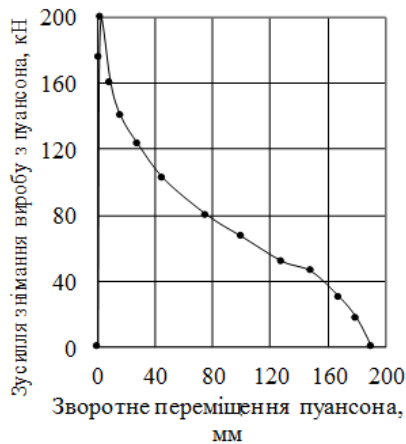


Рис. 8 – Залежність зусилля знімання виробу від зворотного переміщення пуансона

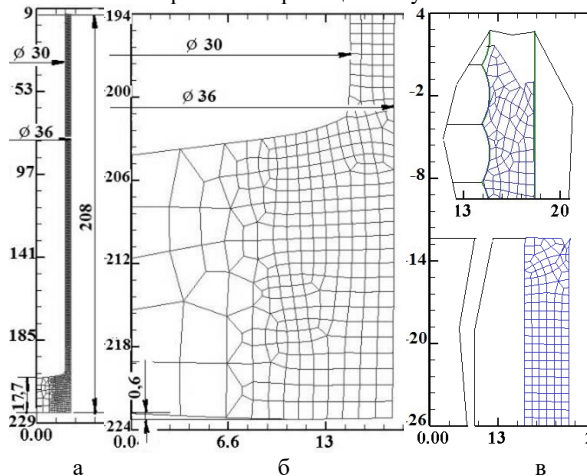


Рис. 9 – Форма і розміри виробу: а - загальний вигляд з розмірами половини виробу, б - форма і розміри донної частини виробу, в - форма торців стінки після витягування та знімання виробу

Форми торців стінок після витягування та знімання виробу показані на (рис. 9в). Торець стінки при зніманні дещо вирівнюється завдяки дії на нього повзушок. Після знімання на торці стінки має місце утяжина зі сторони зовнішньої поверхні.

При виготовленні деяких порожнистих виробів, крім отримання необхідної форми, необхідно забезпечити задані вимоги по механічних властивостях здеформованого металу у стінці виробу. Моделювання за допомогою МСЕ дозволяє прогнозувати напруження текучості здеформованого металу. По величині встановленої інтенсивності деформації та з використанням експериментальної діаграми істинних напружень, яка знаходиться в бібліотеці програми DEFORM, можна визначити напруження σ_s . На рис. 10 зображений розподіл накопиченої інтенсивності деформацій ϵ_i

здеформованого металу виробу після витягування та вирівнювання виступів на його внутрішній

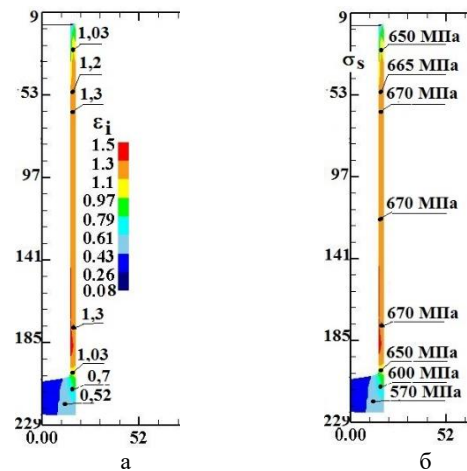


Рис. 10 – Розподіли інтенсивності деформацій ϵ_i та напруження текучості σ_s у здеформованому металі після знімання виробу: а - розподіл ϵ_i , б - розподіл σ_s

поверхні та величини напруження текучості σ_s цього металу, яке визначене по діаграмі істинних напружень. У місці переходу донної частини виробу в стінку та в області верхнього торця виробу отримано $\epsilon_i=1,03$. По всій довжині висоти стінки величина таких деформацій знаходиться в межах $\epsilon_i = 1,2 \div 1,3$. На третині ширини стінки у внутрішніх шарах металу отримано $\epsilon_i=1,3$ з подальшим зменшенням до величини $\epsilon_i=1,19$ до зовнішньої поверхні виробу. При даних розмірах вихідної заготовки і деформуючого інструмента по ширині стінки виробу відбувається практично рівномірне пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією. Вказане також є відмінністю від витягування з потоншенням традиційним пуансоном, при якому у зовнішніх шарах металу стінки має місце більш інтенсивне пропрацювання структури металу чим на внутрішніх.

По результатах розрахункових даних була розроблена конструкція штампа для витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном, яка приведена на рис. 11. Штмп містить одnobандажовану матрицю 1, яка розміщена на проміжній плиті 2 та закріплена до неї кільцем 3 і гвинтами 16. До проміжної плити 2 гвинтами 17 прикріплений корпус 4. В корпусі 4 встановлені дві повзушки 5 і 6, що піджимаються пружинами 18. Також до корпусу 4 прикручена обойма 7. В плиту 2 запресовані дві колонки 8. За допомогою шести опор 9 проміжна плита встановлена та зафіксована гайками 19 на нижній плиті 10 штампа. До верхньої плити 11 штампа гвинтами 20 прикріплений пуансонотримач 12, в якому розміщені пуансон 13 і

опорна плита 14. В верхню плиту запресовані дві втулки 15.

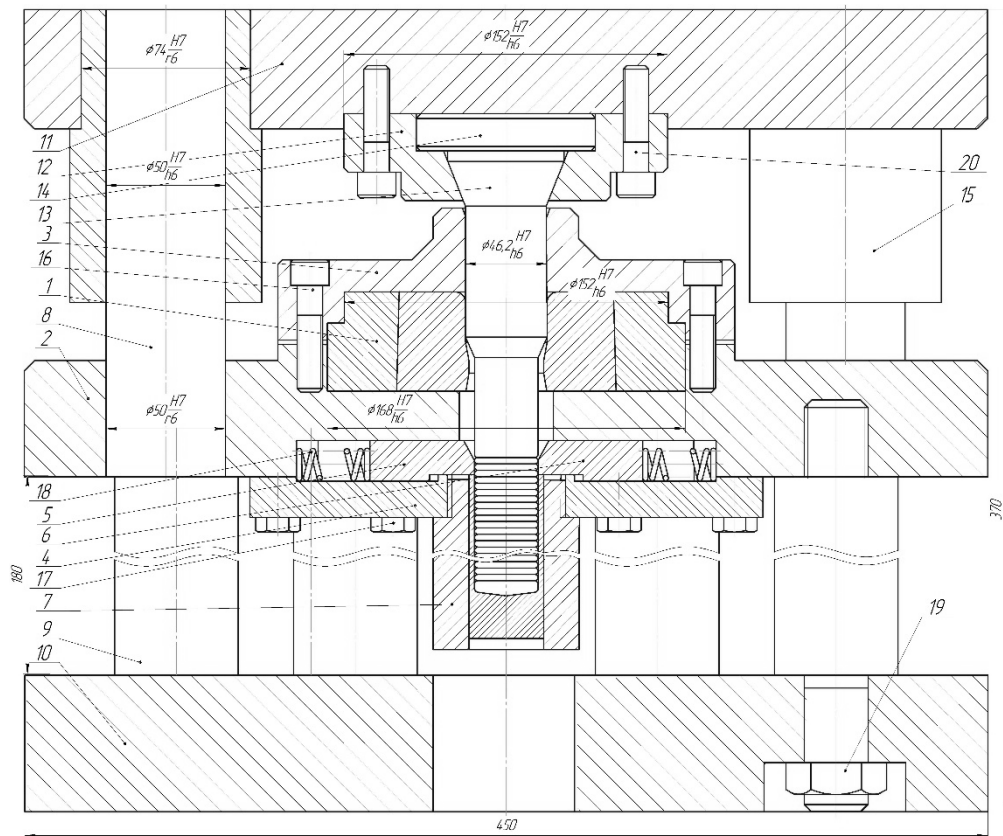


Рис. 11 – Конструкція штампа для витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном

Робота штампа. В матрицю 1 встановлюють вихідну заготовку. При опусканні верхньої плити 11 проходить процес витягування, який закінчується коли повзушки 5 і 6 почнуть спиратися на торець виробу. При зворотному русі верхньої плити 11 за допомогою повзушок забезпечується знімання виробу з пуансона 13.

Висновки:

1. З використанням метода скінченних елементів встановлені параметри холодного витягування з потоншенням порожнистих виробів зпрофільованим пуансоном із товстостінних заготовок, які отримані зворотним видавлюванням.

2. Показано, що використання зпрофільованого пуансона дозволяє суттєво зменшити розтягувальні осеві напруження, які виникають при витягуванні в місці переходу донної частини в стінку, в порівнянні з витягуванням традиційним пуансоном циліндричної форми. Це дозволило збільшити ступінь деформації при потонненні стінки та зменшити кількість переходів штампування.

3. Для витягування зпрофільованим пуансоном встановлені залежності зусилля витягування та зусилля знімання виробу з пуансона від переміщення пуансона. Виявлений розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті при максимальному зусиллі деформування.

4. Визначені кінцеві форма і розміри виробу. Показано, що використання зпрофільованого пуансона забезпечує більш рівномірне пропрацювання структури металу пластичною деформацією по ширині стінки виробу в порівнянні з витягуванням традиційним пуансоном.

5. Моделюванням визначений розподіл інтенсивності деформацій здеформованого металу виробу, що дозволило, з використанням експериментальної діаграми істинних напружень, встановити величину напруження текучості цього металу по висоті стінки та в донній частині виробу.

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. 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. Технология холодной штамповки / Ю. А. Аверкиев., А. Ю. Аверкиев. – М: Машиностроение, 1989. – 304 с.
4. Попов Е.А. Технология и автоматизация листовой штамповки / Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин // Учебник для вузов. – 2-е изд. - М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. – 478 с
5. Кривошеин В.А. Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных при исследовании процесса обжима в матрице с кольцевыми канавками / В.А. Кривошеин // Известия вузов: Машиностроение. – 2011. - №5. – С. 10-12

6. *Калюжний О.В.* Зменшення кількості переходів витягування вісесиметричних виробів з використанням матриці спеціального профілю / О.В. Калюжний // Обработка материалов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013 р. - №4 (37). – С. 93-97.
7. *Калюжний О.В.* Зменшення зусилля та підвищення продуктивності формоутворення при комбінованому витягуванні вісесиметричних виробів / О.В. Калюжний // Вісник НТУ «ХПІ»: Серія «Нові рішення в сучасних технологіях», Харків, 2013 р. - № 42. – С. 126-131.
8. *Калюжний О.В.* Порівняльний аналіз ефективності процесу комбінованого витягування в двоконусній матриці та матриці спеціального профілю / О.В. Калюжний // Обработка материалов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2014 р. - №1(38). – С. 32-37.
9. *Калюжний О.В.* Інтенсифікація формоутворюючих процесів холодного листового штампування / О.В. Калюжний, В.Л. Калюжний. – К.: ТОВ «Сік Груп Україна». 2015. – 292 с.
10. *Калюжний О.В.* Комбіноване витягування вісесиметричних порожнистих виробів з листових заготовок із сталі ASSI-316L в одноконусній матриці та матриці спеціального профілю / О.В. Калюжний, С.С. Соколовська // Обработка материалов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2016 р. – №1 (42). – С. 157-164.
11. *Калюжний О.В.* Інтенсифікація комбінованого витягування вісесиметричних порожнистих виробів в одноконусній матриці спеціального профілю // Обработка материалов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2017 р. – №1 (44). – С. 229-238.

Bibliography (transliterated)

1. Kovka y ob'ємnaia shtampovka: Spravochnik. V 4-kht. / Red. sovet: E.Y. Semenov (pred.) y dr. – t.3. Kholodnaia ob'ємnaia shtampovka / Pod red. H.A. Navrotskoho. - M.: Mashynostroenye, 1987. – 384 s.
2. Kovka y shtampovka: Spravochnik: V 4 t. T. 4. Lystovaia shtampovka / Pod red.. A.D. Matveeva; Red. sovet: E.Y. Semenov (pred.) y dr. – M.: Mashynostroenye, 1985-1987. – 544 s.
3. Averkhev Yu. A. Tekhnolohiya kholodnoi shtampovky / Yu. A. Averkhev., A. Yu. Averkhev. - M: Mashynostroenye, 1989. - 304 s.
4. Popov E.A. Tekhnolohiya y avtomatyzatsiya lystovoi shtampovky / E.A. Popov, V.H. Kovalev, Y.N. Shubyn // Uchebnyk dlia vuzov. – 2-e yzd. - M: Yzd-vo MHTU ym. N.E. Bauman. 2003. – 478 s.
5. Kryvosheyn V.A. Sravnytelnyi analiz teoreticheskikh y eksperimentalnykh dannykh pry yssledovanii protsesa obzhyama v matrytse s koltsevyimi kanavkami / V.A. Kryvosheyn // Yzvestiya vuzov: Mashynostroenye. – 2011. - №5. – S. 10-126.
6. Kaliuzhnyi O.V. Zmenshennia kilkosti perekhodiv vytiahuvannia visesymetrychnykh vyrobiv z vykorystanniam matrytsi spetsialnoho profilu / O.V. Kaliuzhnyi // Obrabotka materialov davleniem: Sbornik nauchnykh trudov. – Kramatorsk: DHMA, 2013 r. - №4 (37). – S. 93-97.
7. Kaliuzhnyi O.V. Zmenshennia zusyillia ta pidvyshchennia produktyvnosti formoutvorennia pry kombinovanomu vytiahuvanni visesymetrychnykh vyrobiv / O.V. Kaliuzhnyi // Visnyk NTU «KhPI»: Seriya «Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh», Kharkiv. 2013 r. - № 42. - S. 126-131.
8. Kaliuzhnyi O.V. Porivnialnyi analiz efektyvnosti protsesu kombinovanoho vytiahuvannia v dvokonussnii matrytsi ta matrytsi spetsialnoho profilu / O.V. Kaliuzhnyi // Obrabotka materialov davleniem: Sbornik nauchnykh trudov. – Kramatorsk: DHMA, 2014 r. - №1(38). – S. 32-37.
9. Kaliuzhnyi O.V. Intensyfikatsiia formoutvoriuiuchykh protsesiv kholodnoho lystovoho shtampuvannia / O.V. Kaliuzhnyi, V.L. Kaliuzhnyi. – K.: TOV «Sik Hrup Ukraina». 2015. – 292 s.
10. Kaliuzhnyi O.V. Kombinovane vytiahuvannia visesymetrychnykh porozhnistykh vyrobiv z lystovykh zahotovok iz stali ASSI-316L v odnokonusnii matrytsi ta matrytsi spetsialnoho profilu / O.V. Kaliuzhnyi, S.S. Sokolovska // Obrabotka materialov davleniem: Sbornik nauchnykh trudov. – Kramatorsk: DHMA, 2016 r. – №1 (42). – S. 157-164.
11. Kaliuzhnyi O.V. Intensyfikatsiia kombinovanoho vytiahuvannia visesymetrychnykh prozhnistykh vyrobiv v odnokonusnii matrytsi spetsialnoho profilu // Obrabotka materialov davleniem: Sbornik nauchnykh trudov. – Kramatorsk: DHMA, 2017 r. – №1 (44). – S. 229-238.

Надійшла (received) 03.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Визначення параметрів витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном порожнистих заготовок після зворотного видавлювання / О.В. Калюжний, В.Л. Калюжний, С.С. Соколовська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №36(1258). – С. 21–28 – Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2519-2671

Определение параметров вытяжки с утонением спрофилированным пуансоном полых заготовок после обратного выдавливания / А.В. Калюжный, В.Л. Калюжный, С.С. Соколовская // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №36(1258). – С. 21–28 – Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2519-2671

Betermination of ironing the hollow workpieces by profiled punch parameters after backward extrusion / O.V. Kaluzhny, V.L. Kaluzhny, S.S. Sokolovska // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No 36(1258). – P. 21–28. – Bibl.:11. – ISSN 2519-2671

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Калюжний Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри Динаміки та міцності машин та опору матеріалів; тел.: (067)771-88-629; e-mail: Av-k@ukr.net.

Калюжний Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры Динамики и прочности машин и сопротивления материалов; тел.: (067)771-88-629; e-mail: Av-k@ukr.net.

Kaluzhny Alexandr Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Docent, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Associate Professor of the Department of Dynamics and Strength of Machines and Resistance of Materials; tel.: (067)771-88-629; e-mail: Av-k@ukr.net.

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.

Калюжний Владимир Леонидович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», профессор кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов; тел.: (098)273-44-19; e-mail: kwl_2011@ukr.net.

Kaluzhny Vladimir Leonidovich – 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.

Соколовська Світлана Сергіївна - 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: sss711@i.ua.

Соколовская Светлана Сергеевна – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», аспирант кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов; тел.: (067)337-10-08; sss711@i.ua

Sokolovska Svitlana Sergiivna – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", postgraduate student of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes; tel.: (067)337-10-08; e-mail: sss711@i.ua.