

УДК 621.983

## ГАРЯЧЕ ВИТЯГУВАННЯ З ПОТОНШЕННЯМ ЧЕРЕЗ ДВІ МАТРИЦІ ПУАНСОНОМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ІЗ СТАЛІ С-60

Калюжний В.Л., Ярмоленко О.С., Таранець К.К.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**Анотація:** Розглянуте моделювання з використанням метода скінченних елементів гарячого витягування з потоншенням через дві послідовно розташовані матриці пуансоном спеціального профіля порожнистих напівфабрикатів із високовуглецевої сталі. Профіль пуансона утворений перетином торів з постійним діаметром перерізу, які розташовані з певним кроком. Такий пуансон забезпечує створення додаткового тягучого зусилля за стінку напівфабрикату, що деформується. Це приводить до зниження зусилля, яке прикладається до донної частин напівфабрикату, збільшення ступеня деформації за один перехід та зменшення розігріву пуансона при формоутворенні. Встановлені залежність зусилля витягування від переміщення пуансона, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті. У zdeформованому напівфабрикаті визначений температурний розподіл та напружено-деформований стан. По розподілу інтенсивності деформації оцінено пропрацювання структури металу пластичною деформацією. Також встановлені кінцеві форма і розміри виробу.

**Ключові слова:** метод скінченних елементів; гаряче витягування з потоншенням; порожнистий напівфабрикат; пуансон спеціального профілю; зусилля; питомі зусилля; напруження; деформації; форма і розміри виробу.

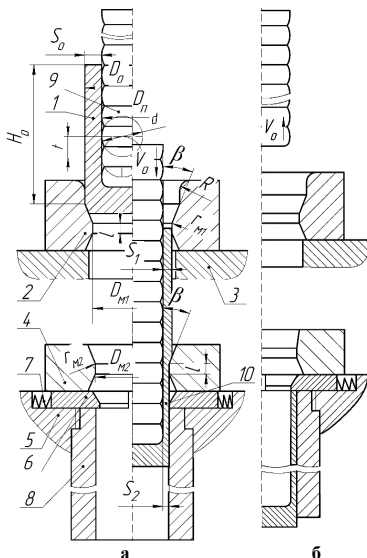


Рис. 1 - Схема витягування з потоншенням пуансоном спеціального профіля через дві матриці: а – схема витягування, б – схема знімання виробу з пуансона

під час витягування, праворуч - на проміжній стадії витягування. Порожниста заготовка 1

При виробництві складових частин боєприпасів великого калібру використовують операцію холодного та гарячого витягування з потоншенням порожнистого напівфабрикату через 2-4 послідовно розташовані матриці. При цьому для запобігання деформування донної частини та її відриву при витягуванні потрібне збільшення товщини самої донної частини та товщини стінки, що приводить до значних витрат металу. Використання пуансона спеціального профіля при витягуванні забезпечує створення додаткового тягучого зусилля за стінку заготовки, що дозволяє зменшити товщину донної частини порожнистого напівфабрикату та збільшити ступінь деформації напівфабрикату при витягуванні через кожну матрицю [1, 2]. Актуальною задачею є застосування такого профіля пуансона при гарячому витягуванні з потоншенням.

Метою роботи є встановлення за допомогою метода скінченних елементів параметрів гарячого витягування з потоншенням порожнистих напівфабрикатів із високовуглецевої сталі С-60.

Схема витягування з потоншенням пуансоном спеціального профіля через дві послідовно розташовані матриці з позначеннями показана на рис. 1. Схема витягування з потоншенням на рис. 1а. Ліворуч від вісі симетрії наведено положення на

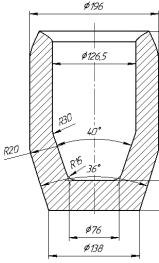


Рис. 2 - Розміри напівфабрикату

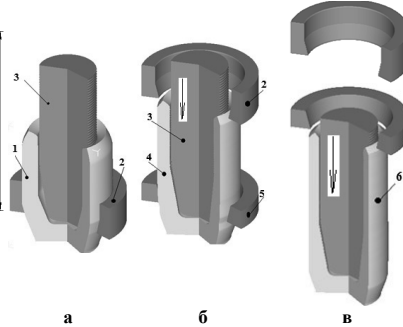


Рис. 3 - Розрахункові схеми: а – на початку витягування, б – в кінці витягування

встановлюється в першій матриці 2, яка розміщена на плиті 3. Друга матриця 4 встановлена на плиті 5. В плити 5 закручена втулка 6. Між матрицею 4 і плитою 5 розміщені дві повзушки 6, які спираються на пружини 7. До плити 5 прикріплена обойма 8. 5 Профіль пуансона 4 утворений перетином торів 3 діаметром перерізу  $d$  та розташовані з кроком  $t$ . При витягуванні метал

падає у впадини на пуансоні, завдяки чому створюється додаткове тягуче зусилля за стінку zdeформованої заготовки. Витягування в другій матриці починається після виходу стінки товщиною  $S_1$  із калібруючого пояса першої матриці, після чого утворюється виріб з товщиною стінки  $S_2$ .

При цьому zdeформована заготовка розсовує повзушки 6, які стискають пружини 7. Зміна виробу з пуансона відбувається при зворотному його переміщенні та утриманні zdeформованої заготовки повзушками 6, що показано на рис. 16. При цьому відбувається вирівнювання виступів на внутрішній поверхні заготовки завдяки наявності обойми 8 і обмеження деформування заготовки по зовнішньому діаметру.

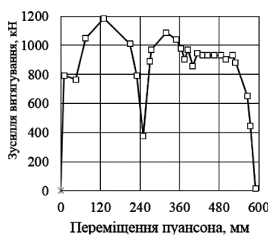


Рис. 4 – Силкові режими витягування: а – залежність зусилля витягування від переміщення пуансона, б – залежність зусилля знімання від переміщення пуансона

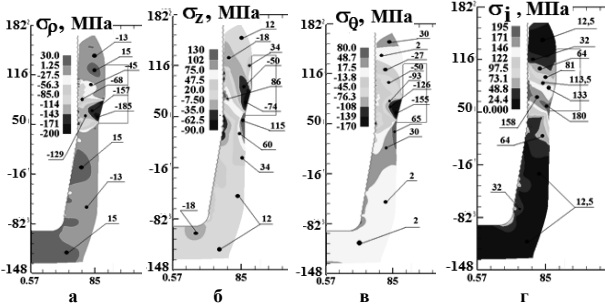
утворена перетином торів з діаметром  $d=10$ , які розташовані з кроком  $t=5$  мм. Задача розглядалася як вісесиметрична в циліндричних координатах  $\rho, z, \theta$  з урахуванням теплового ефекту.

Розміри порожнистого напівфабриката, який підлягає витягуванню, показані на рис. 2. Розрахункові схеми в розрізі показані на рис. 3. На рис. 3а приведена схема на початку витягування. Порожнистий напівфабрикат 1 розміщений в першій матриці 2. Формування виконується за допомогою пуансона 3. При опусканні пуансона 3 спочатку виконується витягування в першій матриці 2 з отриманням zdeформованої заготовки 4 (рис. 3б), а після витягування в другій матриці 5 виконується формування виробу 6 (рис. 3в).

На рис. 4 показані силкові режими витягування та знімання виробу з пуансона. Залежність зусилля витягування від переміщення пуансона приведена на рис. 4а. Зусилля досягає максимального значення 1190 кН в першій матриці та 1090 кН в другій матриці. Залежність зусилля знімання виробу з пуансона від його переміщення показана на рис. 4б. Максимальне значення цього зусилля складає 60 кН.

Моделювання проводили в скінченно-елементній програмі DEFORM. Температура вихідної заготовки складала 1000 °С, швидкість деформування з коефіцієнтом тертя  $\mu=0,3$  була  $V_0=150$  мм/сек. Розміри матриць (див. рис. 1а):  $D_{m1}=180$  мм,  $D_{m2}=170$  мм,  $r_{m1} - r_{m2}=2$  мм,  $l=3$  мм,  $\beta=14^\circ$ .

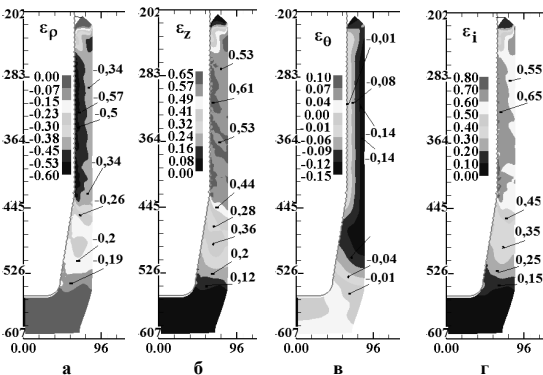
Розміри пуансона:  $D_p=126$  мм. Циліндрична і конусна частина



**Рис. 5 - Розподіл напружень по об'єму заготовки: а – радіальні напруження  $\sigma_\rho$ , б – осьові напруження  $\sigma_z$ , в – тангенціальні напруження  $\sigma_\theta$ , г – інтенсивність напруження  $\sigma_i$**

межах  $\sigma_\rho = -129 \div -185$  МПа (рис. 5а). При витягуванні у стінці отримані розтягувальні осьові напруження величиною  $\sigma_z = 115$  МПа (рис. 5б). Також в осередку деформації отримані стискаючі тангенціальні напруження, які досягають значення  $\sigma_\theta = 155$  МПа (рис. 5в). У вказаному місці отримано максимальну величину інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (рис. 5г).

Розподіли компонент кінцевих деформацій показані на рис. 6. У конусній частині



**Рис. 6 - Розподіли компонент кінцевих деформацій у деформованій заготовці: а – розподіл радіальних деформацій  $\epsilon_\rho$ , б – розподіл осьових деформацій  $\epsilon_z$ , в – розподіл тангенціальних деформацій  $\epsilon_\theta$ , г – розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$**

на рис. 7. Штамп містить верхню 7 та нижню 11 плити. У верхній плиті встановлені чотири колонки 5, пуансонотримач 4 з пуансоном 3 та зафіксовані до неї гвинтами 20. До плити 11 вкручені шість шпильок 14, на які встановлена проміжна плита 13 з втулками 15 і зафіксована гайками.

На плиті 13 розміщена матриця 2 та закріплена кільцем і гвинтами. Знизу на плиті 13 прикріплені гвинтами 22 корпус 9 з двома повзушками 16, які спираються на пружини 23. До плити 13 вкручені ще шість шпильок 10. На шпильки 10 встановлена друга проміжна плита 12 з матрицею 1 та втулками 5 та закріплена гайками 18. Матриця 1 зафіксована кільцем 17 і гвинтами.

Моделюванням встановлений деформований стан на протязі процесу витягування з потоншенням. На рис. 5 приведені розподіли компонент напружень, які отримані при максимальному значенні зусилля витягування в першій матриці. Тут і в подальшому розміри по всіях показані в міліметрах і тонкими лініями зображений інструмент.

В осередку деформації виникають стискаючі радіальні напруження, які знаходяться у

деформованої заготовки виникають стискаючі радіальні деформації у межах  $\epsilon_\rho = -0,19 \div -0,26$ , а в циліндричній частині -  $\epsilon_\rho = -0,34 \div -0,57$  (рис. 6а). У вказаних місцях отримані розтягувальні осьові деформації, які знаходяться відповідно у межах  $\epsilon_z = 0,12 \div 0,44$  та  $\epsilon_z = 0,53 \div 0,61$  (рис. 6б). Тангенціальні деформації  $\epsilon_\theta$  по об'єму стискаючі і мають невелику величину (рис. 6в). Розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  (рис. 6г) має вигляд, який аналогічний розподілу осьових деформацій  $\epsilon_z$ . На основі результатів розрахунків розроблена конструкція штампового оснащення, яка наведена

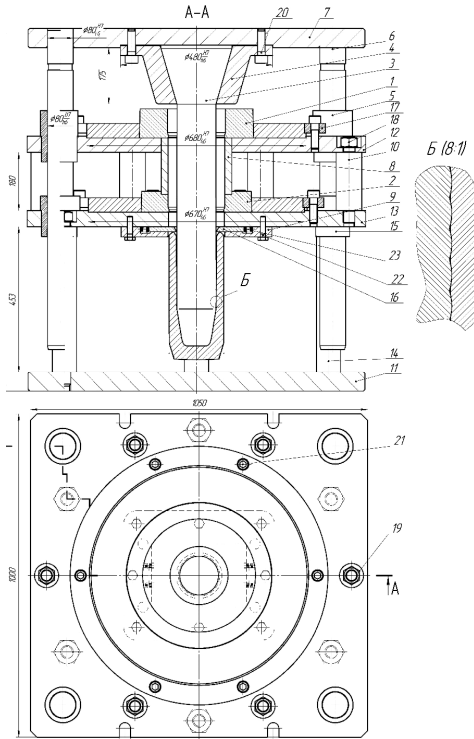


Рис. 7 - Конструкція штампа для витягування

dimensions of the product.

### Горячая вытяжка с утонением через две матрицы пуансоном специального профиля осесимметричных полых полуфабрикатов из стали С-60 Калюжний В.Л., Ярмоленко А.С., Таранец К.К.

**Аннотація:** Рассмотрено моделирование с использованием метода конечных элементов горячей вытяжки с утонением через две последовательно расположенные матрицы пуансоном специального профиля полых полуфабрикатов из высокоуглеродистой стали. Профиль пуансона образован пересечением торов с постоянным диаметром сечения, которые расположены с определенным шагом. Такой пуансон обеспечивает создание дополнительного тянущего усилия за стенку полуфабриката, который деформируется. Это приводит к снижению усилия, которое прикладывается к нижней части полуфабриката, увеличения степени деформации за один переход и уменьшение разогрева пуансона при формообразовании. Установлены зависимость усилия вытяжки от перемещения пуансона, распределение удельных усилий на деформирующем инструменте. В сформированном полуфабрикате определено температурное распределение и напряженно-деформированное состояние. По распределению интенсивности деформаций оценена проработка структуры металла пластической деформацией. Также установлены конечный форма и размеры изделия.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, горячая вытяжка с утонением, полый полуфабрикат, пуансон специального профиля, усилие, удельные усилия, напряжения, деформации, форма и размеры изделия.

#### Список літератури

1. Калюжний В.Л. Визначення параметрів витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном порожнистих заготовок після видавлювання / В.Л. Калюжний, С.С. Соколовська // Вісник НТУ «ХП», Серія : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудування та металургії. - Харків: НТУ, 2017, - №36 (1258). - С. 21.28.
2. Калюжний В.Л. Вплив радіуса заокруглення пуансона спеціального профілю на витягування віссиметричних виробів з листової заготовки із нержавіючої сталі / В.Л., О.В. Калюжний, Редька К.К. // Вісник НТУ «ХП», Серія : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудування та металургії. - Харків: НТУ, 2018, - № 31(1307). - С. 45-50.

### Hot drawing with thinning through two matrixes of punches of the special profile of axisymmetric hollow semi-finished products from steel C-60 Kaljuzhnyi V.L., Jarmolenko O.S., Taranets K.K.

**Abstract.** Consideration of the use of the method of the end elements of hot drawing with a thinning through two consecutive matrixes with a punch special profile of the hollow semi-finished products from high carbon steel. The profile of the punch is formed by the intersection of the tori with a constant diameter of the cross section, which are located with a definite step. Such a punch provides for the creation of an additional pulling force by wall of the semifinished product, which is deformed. This leads to a reduction in the effort that is applied to the bottom part of the semifinished product, increasing the degree of deformation due to a single transition and reducing the heating punch during the formation. The established dependence of the force drawing from the displacement of the punch, the distribution of the specific forces on the deforming tool. In the deformed semi-finished product, the temperature distribution and the stress-strain state are determined. The distribution of intensity of deformations is estimated at the structure in metal processing of plastic deformation. Also installed the final shape and dimensions of the product.

**Keywords:** method of end elements, hot drawing with thinning, hollow semi-finished product, special profile punch, force, specific forces, stresses, deformations, shape and