

УДК 621.983

## СИЛОВІ РЕЖИМИ ТА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ЗДЕФОРМОВАНИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИТЯГУВАННІ В РАДІАЛЬНІЙ ТРАДИЦІЙНІЙ МАТРИЦІ ТА В МАТРИЦІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ

Калюжний О.В., Сабоп С.Ф., Редька К.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**Анотація.** Методом скінченних елементів проведений аналіз витягування в радіальній традиційній матриці та в матриці спеціального профілю вісесиметричних порожнистих виробів із нержавіючої сталі. Встановлено залежності зусилля витягування та зусилля на притискачі від переміщення пуансона. Визначено напружений стан здеформованих заготовок при максимальній величині зусилля витягування, кінцевий деформований стан та форма і розміри виробів. Проведено порівняння отриманих результатів. Використання матриці спеціального профілю приводить до зниження зусилля витягування та зменшення величини осьових розтягувальних напружень у здеформованій заготовці при витягуванні. Вказані переваги дозволяють зменшити величини зазорів між заготовкою і притискачем, між пуансоном та матрицею та підвищити точність форми і розмірів виробів.

**Ключові слова:** витягування, метод скінченних елементів, порожнистий виріб, матриця традиційна, матриця спеціального профілю, зусилля витягування, напруження, деформації.

Витягування вісесиметричних порожнистих виробів із листових заготовок в радіальних матрицях з притискачем є широко розповсюджений процес для отримання балонів та різноманітних ємностей. Одним із способів інтенсифікації витягування полягає в зниженні зусилля деформування, що забезпечує зменшення осьових розтягувальних напружень в стінці здеформованої заготовки при формоутворенні, які є причиною обриву донної частини вказаної заготовки. На зусилля витягування впливає тертя на радіусі заокруглення та калібруючому пояску матриці. Використання деформуючого інструменту спеціального профілю приводить до зниження сил тертя, що дозволяє зменшити енергосилові параметри процесу та збільшити ступінь деформації за один перехід [1-2].

Метою роботи є визначення і порівняння параметрів витягування вісесиметричних порожнистих виробів в традиційній радіальній матриці та радіальній матриці спеціального профілю.

Схема витягування в матриці спеціального профілю зображена на рис. 1. Ліворуч від осі симетрії показане положення на початку витягування, праворуч - в процесі витягування. Вихідна листова заготовка 1 діаметром  $D_0$  і товщиною  $S_0$  розміщена між матрицею 2 та

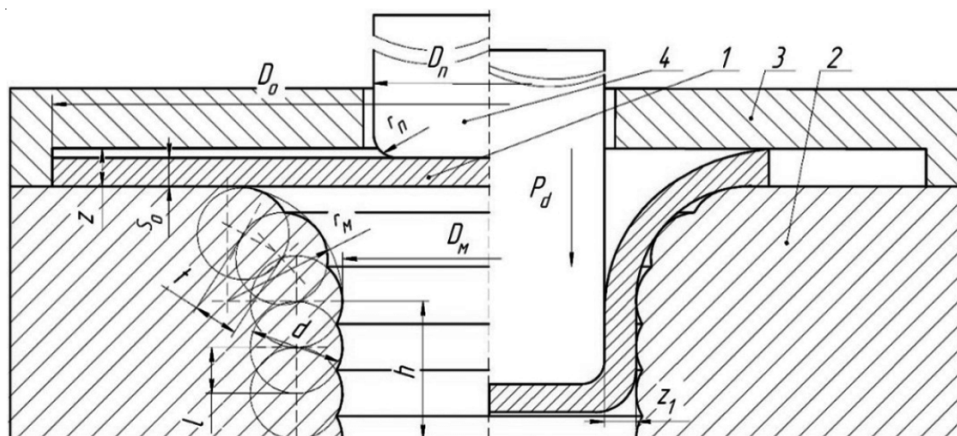


Рис. 1 - Схема радіальної матриці спеціального профілю

притискачем 3. Зусилля деформування прикладають за допомогою пуансона 4. Деформуюча поверхня матриці утворена перетином торів, що мають переріз діаметром  $d$ , які являються дотичними до радіуса заокруглення матриці  $r_m$  та до циліндричної поверхні матриці діаметром  $D_m$ . Крок розташування торів на радіусі матриці  $r_m$  має величину  $t$ , а на циліндричній поверхні матриці -  $l$ .

Встановлення параметрів проводили шляхом моделювання методом скінченних елементів з використанням програми DEFORM. Витягуванню із коефіцієнтом тертя  $\mu=0,08$  та швидкістю деформування  $V_0=7$  мм/сек підлягали листові заготовки із сталі AISI 304. Розміри вихідної заготовки:  $D_0=208$  мм,  $S_0=1$  мм. Розміри пуансона та матриці при витягуванні в традиційній радіальній матриці були наступні (див. рис. 1):  $D_p=106,1$  мм,  $r_p=10$  мм,  $D_m=108,5$  мм,  $r_m=10$  мм,  $h=20$  мм. При цьому величини зазорів між матрицею і притискачем та пуансоном і матрицею склали відповідно  $z=1,3$  і  $z_1=1,2$  мм. Деформуюча поверхня матриці спеціального профілю утворена перетином торів діаметром  $d=8$  мм з кроками розташування  $t=1,5$  мм та  $l=2$  мм.

На рис. 2 приведені в розрізі розрахункові положення деформуючого інструменту і заготовки на різних стадіях витягування. Положення на початку витягування зображене на рис. 2а. Вихідна заготовка 1 розміщена між матрицею 2 і притискачем 3. Зусилля деформування прикладали за допомогою пуансона 4. На рис. 2б наведено положення при максимальному значенні зусилля витягування. Положення в кінці витягування з отриманням виробу 5 зображене на рис. 2в.

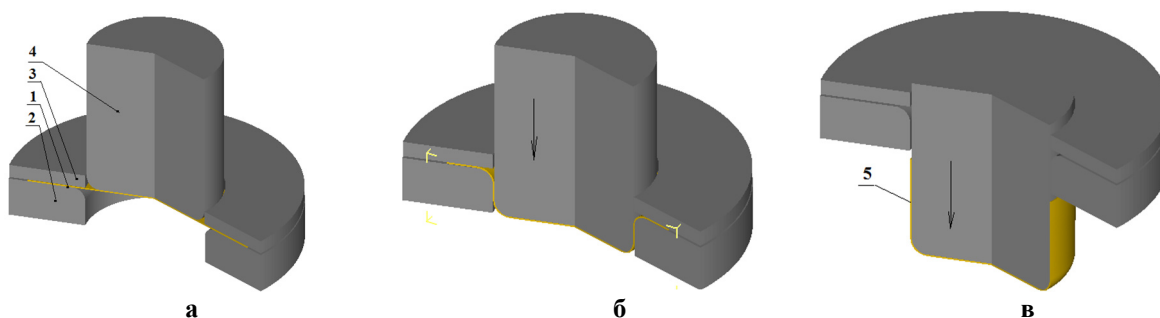


Рис. 2 – Розрахункові положення деформуючого інструмента: а – на початку витягування, б – при максимальній величині зусилля витягування, в - в кінці витягування

На рис. 3 показані залежності зусилля витягування від переміщення пуансонів. Вигляд залежностей для витягування в різних матрицях практично однаковий. При витягуванні в традиційній радіальній матриці зусилля досягає максимальної величини 190 кН при переміщенні пуансона 32 мм, а при витягуванні у матриці спеціального профілю отримана максимальне значення 164 кН при переміщенні 30 мм. Другий максимум зусилля витягування має місце при витягуванні торця здеформованої заготовки, який має найбільшу величину потовщення, в зазор між пуансоном і циліндричною поверхнею матриці. Використання радіальної матриці спеціального профілю приводить до зменшення максимальної величини зусилля витягування на 14% в порівнянні з традиційною радіальною матрицею. Зменшення зусилля забезпечується завдяки зниженню сил тертя на радіусі заокруглення матриці спеціального профілю.

Залежності зусилля, що сприймають жорсткі притискачі, при витягуванні в різних матрицях зображені на рис. 3. Величини цих зусиль на протязі витягування однакові. Максимальні значення зусилля 30 кН отримані при переміщенні пуансонів 56 мм.

На рис. 4 наведені розподіли осьових напружень  $\sigma_z$  у здеформованих заготовках при

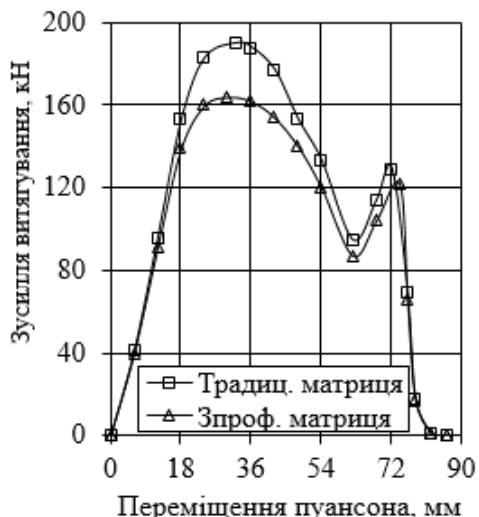


Рис. 3 - Залежності зусилля витягування від переміщення пуансона

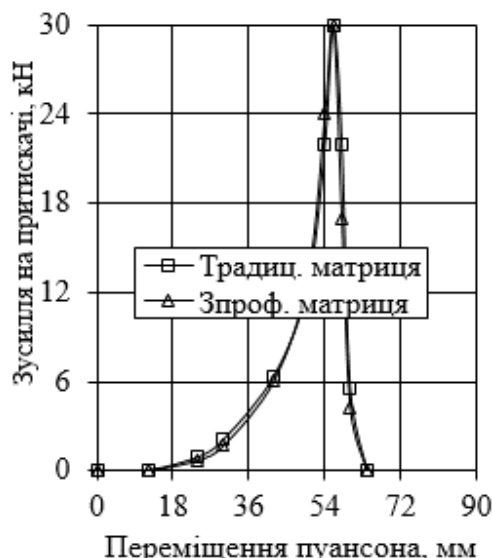


Рис. 4 - Залежності зусилля на притискачі від переміщення пуансона

максимальному значенні зусилля витягування для розглянутих варіантів матриць. Тонкими лініями показаний деформуючий інструмент. Завдяки зниженню зусилля витягування у матриці спеціального профілю зменшуються величини напружень  $\sigma_z$  у здеформованій заготовці при витягуванні в матриці спеціального профілю в порівнянні з традиційною матрицею. Особливо суттєве зменшення має місце в небезпечному перерізі (перехід від радіуса заокруглення на пуансоні до циліндричної частини стінки). При витягуванні в традиційній матриці у вказаному місці отримано  $\sigma_z=530$  МПа, а при витягуванні в матриці спеціального профілю -  $\sigma_z=370$  МПа. Таким чином, використання матриці спеціального профілю дозволяє збільшити діаметр вихідної заготовки та зменшити коефіцієнт витягування за один перехід при даній відносній товщині заготовки.

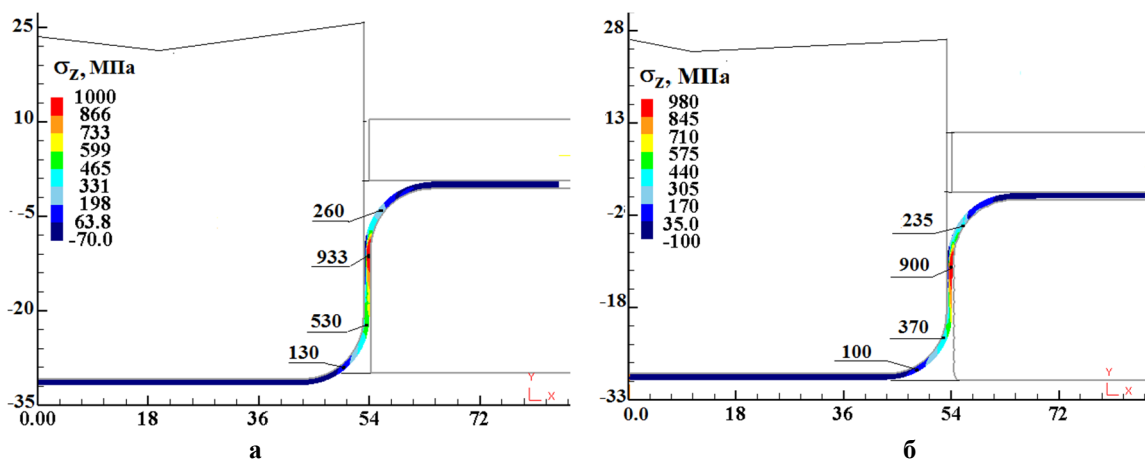


Рис. 5 – Розподіли осьових напружень  $\sigma_z$  у здеформованих заготовках при максимальному значенні зусилля витягування: а – при витягуванні в традиційній матриці, б – при витягуванні в матриці спеціального профілю. Розміри по осях в міліметрах

Розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  у стінці виробу та форма і розміри половини виробу зображені на рис. 5. На рис. 5а наведений розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$ . Найбільші величини  $\epsilon_i=0,68\div 0,9$  зосереджені в зоні торця стінки виробу з подальшим зменшенням до  $\epsilon_i=0,16$  в місці переходу циліндричної частини стінки в радіус заокруглення. Розміри половини виробу показані на рис. 6б. Стінка виробу має різну товщину по висоті.

Торець стінки потовщується з вихідної товщини  $S_0=1\text{мм}$  до товщини 1,2 мм. Центральна частина стінки має товщину 1,05 мм. На радіусі заокруглення стінки в донну частину товщина зменшується до значення 0,97 мм.

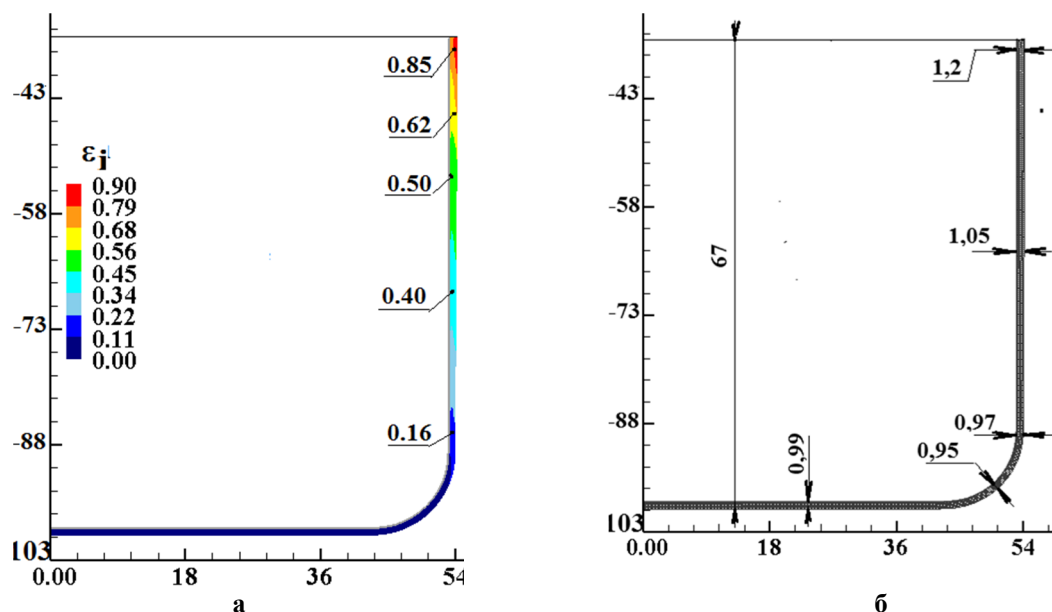


Рис. 6 – Розподіл інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  у стінці виробу та форма і розміри половини виробу: а - розподіл  $\varepsilon_i$ , б – форма і розміри виробу

Висновки. 1. Проведено порівняльний аналіз витягування вісесиметричних порожнистих виробів в традиційній радіальній матриці та в радіальній матриці спеціального профілю. 2. Встановлено величини зусиль на пуансоні та притискачі при витягуванні, визначено напружено-деформований стан заготовок та виявлено кінцеву форму і розміри виробу. 3. Використання матриці спеціального профілю приводить до зменшення зусилля витягування та зниження осьових розтягувальних напружень в небезпечному перерізі zdeформованої заготовки в порівнянні з традиційною матрицею, що дозволяє зменшити коефіцієнт витягування за один перехід.

#### Список літератури:

1. Калюжний О.В. *Інтенсифікація комбінованого витягування вісесиметричних порожнистих виробів в одноконусній матриці спеціального профілю* // *Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – ДГМА. – Краматорск, 2017 р. – №1 (44). – С. 229-238.*
2. Калюжний О.В. *Визначення параметрів витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном порожнистих заготовок після видавлювання* / В.О. Калюжний, С.С. Соколовська // *Вісник НТУ «ХП», Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії», Харків, НТУ «ХП», 2017. № 36(1257). - С. 21-28.*