

УДК.621.983

Калюжний О. В.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ КОМБІНОВАНОГО ВИТЯГУВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ В ОДНОКОНУСНІЙ МАТРИЦІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЯ

Комбіноване витягування листових заготовок в радіальних, одноконусних та двохконусних матрицях дозволяє отримати порожнисті вироби з постійною товщиною стінки циліндричної частини [1–4]. Одним із способів інтенсифікації комбінованого витягування в одноконусних і двохконусних матрицях є використання матриць спеціального профіля. В таких матрицях профіль деформуючих поверхонь утворений перетином торів з перерізом однакового діаметра. Крок розташування торів повинен бути таким, щоб не було згинання здеформованої заготовки між виступами деформуючої поверхні матриці. Застосування матриць спеціального профіля забезпечує зниження зусилля комбінованого витягування завдяки зменшенню площі контакту здеформованої заготовки із матрицею. При цьому суттєво зменшуються величини розтягувальних напружень у небезпечному перерізі здеформованої заготовки. В результаті скорочується кількість переходів витягування та збільшується ступінь деформації при потоншенні стінки в зазорі між пуансоном і матрицею. Ефективність використання одноконусної матриці спеціального профіля в порівнянні із традиційною матрицею при витягуванні порожнистих виробів із сталі AISI 316L показана в роботі [5]. Переваги використання двохконусної матриці спеціального профілю в порівнянні з традиційною двохконусною матрицею при витягуванні заготовок із різних матеріалів та різними відносними товщинами заготовки наведені в джерелах [6–10]. Однак актуальними залишаються задачі подальшої інтенсифікації комбінованого витягування в конусних матрицях спеціального профіля в напрямку зменшення кількості переходів штампування та збільшення ступеня деформації при потоншенні стінки.

Метою роботи є інтенсифікація комбінованого витягуванням порожнистих виробів в одноконусній матриці спеціального профіля в напрямку скорочення кількості переходів штампування та збільшення ступеня деформації при потоншенні стінки.

Збільшення ступеня деформації при потоншенні стінки можна забезпечити шляхом застосування пуансона з профільованою боковою поверхнею замість традиційного пуансона з циліндричною боковою поверхнею. Профільована поверхня пуансона дозволить створити тягнуче зусилля до стінки здеформованої заготовки в зазорі між пуансоном і калібруючим пояском матриці та розвантажити донну частину здеформованої заготовки, до якої прикладається зусилля деформування. При цьому суттєво зменшуються величини розтягувальних напружень у стінці на радіусі заокруглення пуансона та у стінці циліндричної частини здеформованої заготовки, що є причиною руйнування при витягуванні.

Схема комбінованого витягування в одноконусній матриці спеціального профіля з використанням пуансона із зпрофільованою боковою поверхнею зображена на рис. 1. Ліворуч від вісі симетрії показаний вихідний стан перед витягуванням, праворуч – в процесі витягування. Вихідну листову заготовку 1 діаметром D_0 та товщиною S_0 встановлюють на матриці спеціального профіля 2. Конусна деформуюча поверхня матриці 2 утворена перетином торів з однаковим діаметром перерізу d_m , центри яких розташовані під кутом з однаковим кроком t_m . Дотична до виступів цієї поверхні утворює кут α з віссю симетрії матриці. Діаметр отвору матриці D_m , радіуси заокруглення r_m і R_m . Висота конусної поверхні матриці h_k , а калібруючого пояса h_m . Витягування виконують за допомогою пуансона 3 із профільованою боковою поверхнею. Бокова поверхня такого пуансона утворена перетином торів з однаковим діаметром перерізу d_p , які розташовані з постійним кроком t_p . Дотична до ви-

ступів поверхні утворює діаметр D_p . Радіус заокруглення пуансона r_p . При цьому z - односторонній зазор між пуансоном і матрицею.

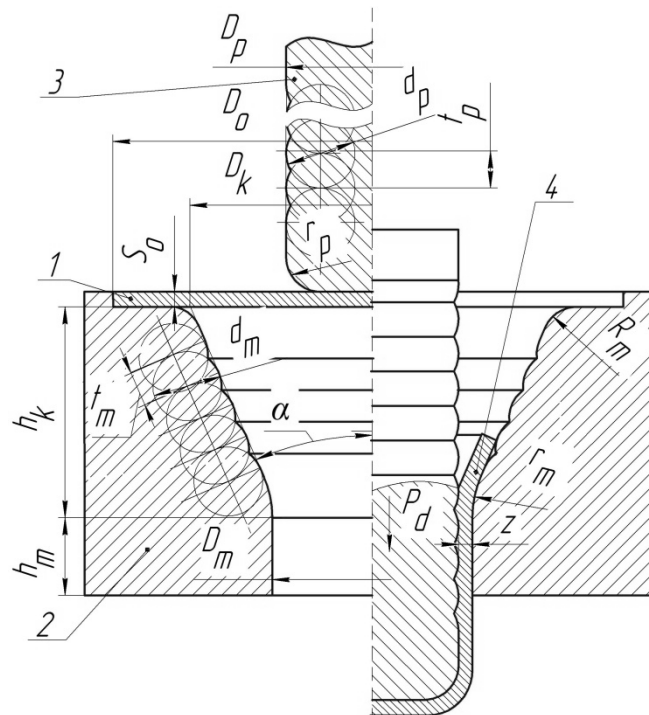


Рис. 1. Схема комбінованого витягування зпрофільованим пуансоном в одноконусній матриці спеціального профіля

В процесі витягуванні заготовки по поверхні матриці спеціального профіля зусилля деформування P_d прикладається пуансоном до донної частини заготовки, як і в традиційній матриці. В процесі потоншення стінки заготовки в зазорі між пуансоном та калібруючим пояском матриці zdeформований метал заповнює впадини на боковій поверхні пуансона, що створює тягнуче зусилля до стінки у цьому місці. Це приводить до розвантаження стінки донної частини zdeформованої заготовки 4 завдяки значному зменшенню розтягувальних напружень.

Визначення параметрів процесів комбінованого витягування традиційним пуансоном та зпрофільованим пуансоном в одноконусній матриці спеціального профіля було проведено шляхом математичного моделювання за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) в програмному середовищі DEFORM. Використана пружно-пластична модель металу з урахуванням теплового ефекту при формоутворенні. Витягуванню підлягали заготовки із сталі 12X18H10T діаметром $D_o=95$ мм і товщиною $S_o=1,5$ мм. Розміри матриці спеціального профіля були наступні (див. рис. 1): $D_k=85,5$ мм, $R_m=6$ мм, $r_m=30$ мм, $\alpha=20^\circ$, $d_m=3$ мм, $t_m=1,5$ мм, $h_k=80$ мм, $D_m=38$ мм, $h_m=5$ мм.

Для підтвердження ефективності використання зпрофільованого пуансона проведений порівняльний розрахунковий аналіз витягування в одноконусній матриці спеціального профіля заготовки вказаних розміром традиційним та зпрофільованим пуансоном. Традиційний пуансон мав діаметр циліндричної частини $D_p=35,4$ мм і радіус заокруглення $r_p=8$ мм, а розміри зпрофільованого пуансона були наступні: $D_p=35,4$ мм, $r_p=8$ мм, $d_p=3$ мм і $t_p=1,5$ мм (див. рис. 1). В обох випадках витягування величина одностороннього зазору між матрицею і пуансоном складала $z=1,5$ мм, що дорівнює товщині вихідної заготовки.

Розрахункова схема витягування в розрізі та результати моделювання для витягування традиційним пуансоном приведені на рис. 2. На рис. 2, а зображена розрахункова схема в розрізі.

Вихідну листову заготовку встановлюють на матриці 2. Деформування виконують за допомогою пуансона 3. Моделюванням встановлено, що при даних розмірах заготовки та деформуючого інструмента отримати виріб неможливо. На певній стадії витягування (при переміщенні пуансона 84 мм) у стінці zdeформованої заготовки на радіусі заокруглення пуансона виникають значні розтягувальні осьові σ_z напруження. Розподіл напружень σ_z у zdeформованій заготовці при цьому переміщенні показаний на рис. 2, б. Тут і в подальшому тонкими лініями зображені матриця і пуансон. У вказаному місці заготовки ці напруження досягають величини $\sigma_z = 950$ МПа. При дії розтягувальних напружень відбувається потоншення стінки на радіусі заокруглення пуансона та швидке вичерпання ступеня використання ресурса пластичності ψ zdeформованого металу до критичної величини $\psi = 1$, при якій відбувається руйнування (рис. 2, в). В результаті має місце відрив донньої частини заготовки (рис. 2, г).

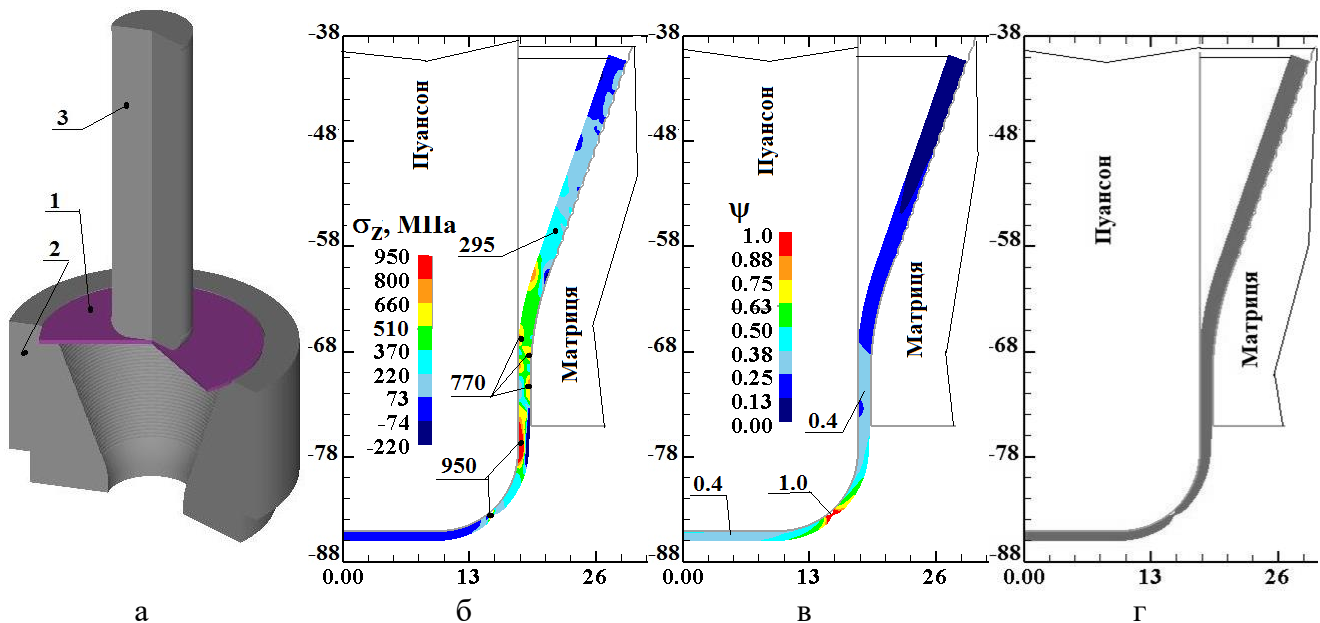


Рис. 2. Розрахункова схема витягування в розрізі та результати моделювання по витягуванню традиційним пуансоном:

а – розрахункова схема, б – розподіл осьових напружень σ_z у zdeформованій заготовці, в – розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ zdeформованого металу, г – відрив донньої частини заготовки. Розміри в напрямках вісей координат наведені в міліметрах

По іншому проходить формоутворення виробу при використанні зпрофільованого пуансона. Для порівняння на рис. 3 приведені результати розрахунків по витягуванню зпрофільованим пуансоном при переміщенні пуансона 84 мм, що відповідає інтенсивному потонненню та руйнуванню стінки zdeформованої заготовки при витягуванні традиційним пуансоном. На рис. 3а зображений фрагмент zdeформованої заготовки, який знаходиться в зазорі між матрицею і пуансоном та на радіусі заокруглення пуансона. На цій стадії витягування у вказаному зазорі zdeформований метал заповнює впадини на боковій поверхні пуансона, що приводить до створення тягнучого зусилля до стінки заготовки та розвантаження донньої частини заготовки. Потоншення стінки до величини 1,27 мм на радіусі заокруглення пуансона проходить в основному за рахунок згинання заготовки. При цьому суттєво зменшуються розтягувальні осьові напруження у стінці на радіусі заокруглення пуансона до величини $\sigma_z = 350$ МПа (рис. 3, б), а також зменшуються тангенціальні розтягувальні напруження σ_θ . В результаті ступінь використання ресурсу пластичності zdeформованого металу вичерпується значно менше та досягає величини в межах $\psi = 0,3 \dots 0,4$ (рис. 3, в).

Таким чином застосування зпрофільованого пуансона дозволяє провести інтенсифікацію процесів витягування в одноконусній матриці спеціального профіля в напрямку скорочення кількості переходів штампування.

Розрахунковим аналізом також встановлена можливість отримання виробу з товщиною стінки 1 мм для даних розмірів заготовки. Для цього був використаний зпрофільований пуансон з розмірами $D_p=36$ мм, $r_p=8$ мм, $d_p=3$ мм і $t_p=1,5$ мм. При цьому величина одностороннього зазору між пуансоном і матрицею складає $z=1,0$ мм.

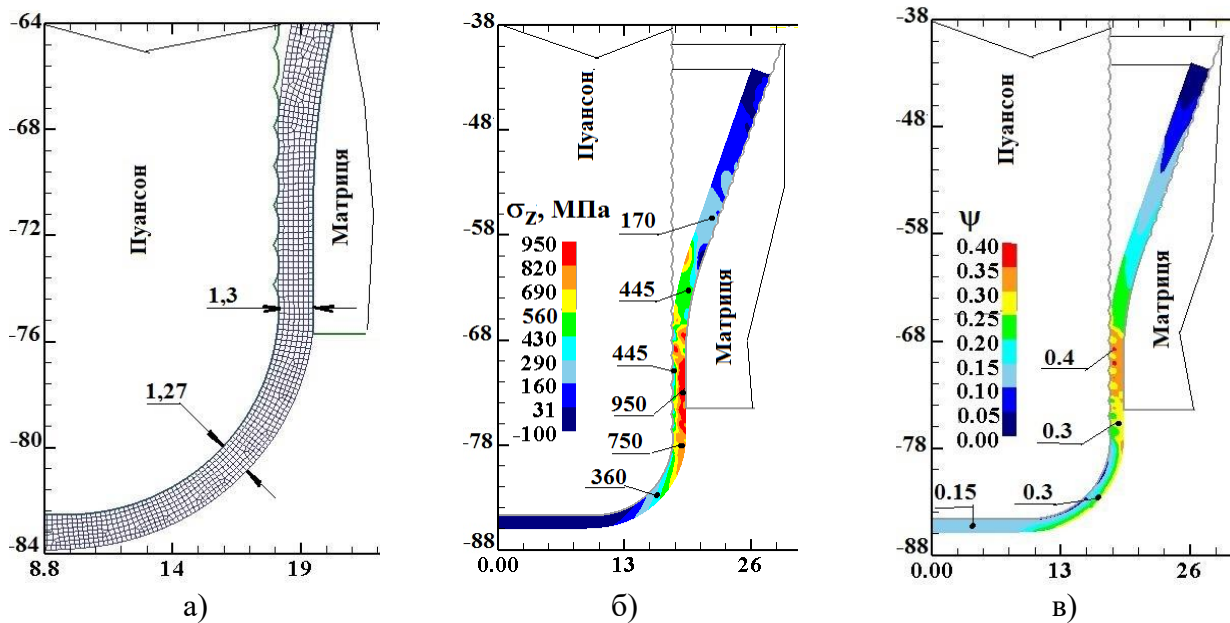


Рис. 3. Результати розрахунків по витягуванню зпрофільованим пуансоном при переміщенні пуансона 84 мм :

а – фрагмент zdeформованої заготовки, б – розподіл осьових напружень σ_z у zdeформованій заготовці, в – розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ zdeформованого металу. Розміри в напрямках вісей координат наведені в міліметрах

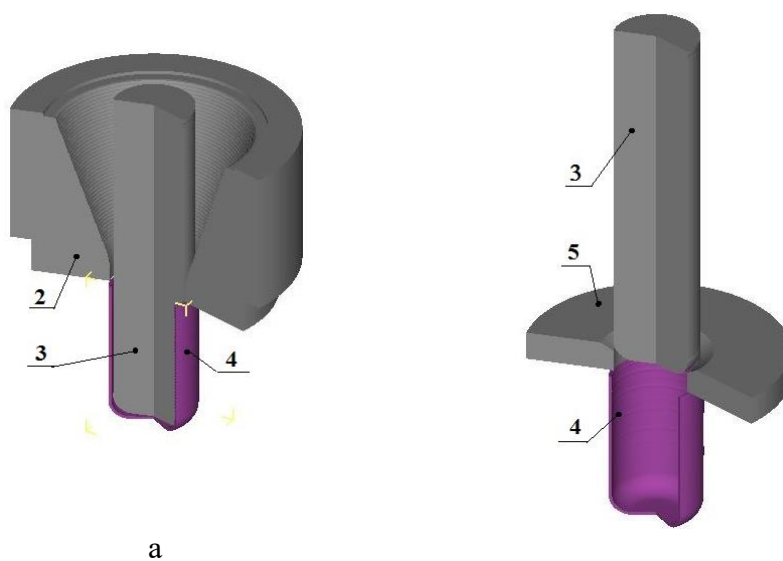


Рис. 4. Розрахункові положення в кінці витягування та після знімання виробу із пуансона:

а – після витягування, б – після знімання

Для двох варіантів витягування зпрофільованими пуансонами різного діаметра ($D_p=35,4$ мм та $D_p=36$ мм) проведено розрахункові аналізи безпосередньо формоутворення витягуванням та знімання виробу із пуансона. Моделюванням встановлені залежності зусилля витягування від переміщення пуансона, зусилля знімання виробу із пуансона, напружено-деформований стан здеформованих заготовок та кінцеві форми і розміри виробів.

На рис. 4 приведені розрахункові положення в кінці витягування та після знімання виробу із пуансона. Процес витягування завершують, коли здеформована заготовка повністю виходить із калібруючого пояса матриці 2 і утворюється виріб 4 (рис. 4, а). Знімання виробу із пуансона відбувається при зворотному ході пуансона 3. Для цього на нижньому торці матриці 2 розташовують дві рухомі в горизонтальному напрямку повзушки 5, на які спирається торець виробу 4 після завершення витягування. При підніманні пуансона 3 вверх проходить знімання виробу 4 із пуансона (рис. 4, б).

Залежності зусиль витягування та подальшого знімання виробу від переміщення пуансонів зображені на рис. 5. На рис. 5, а показані залежності зусиль витягування від переміщення пуансонів. До переміщення пуансонів 70 мм зусилля витягування однакові для двох діаметрів пуансонів. Максимальні значення зусиль отримані на кінцевих стадіях витягування. Для пуансона із $D_p=35,4$ мм ($z=1,3$ мм) отримано 213 кН, а для пуансона $D_p=36$ мм ($z=1,0$ мм) – 220 кН. Залежності зусиль знімання виробів із пуансонів при їх зворотному ході показані на рис. 5, б. Максимальні величини цих зусиль отримані на початку зворотного руху пуансона. Чим менша товщина стінки виробу, тим менше зусилля знімання.

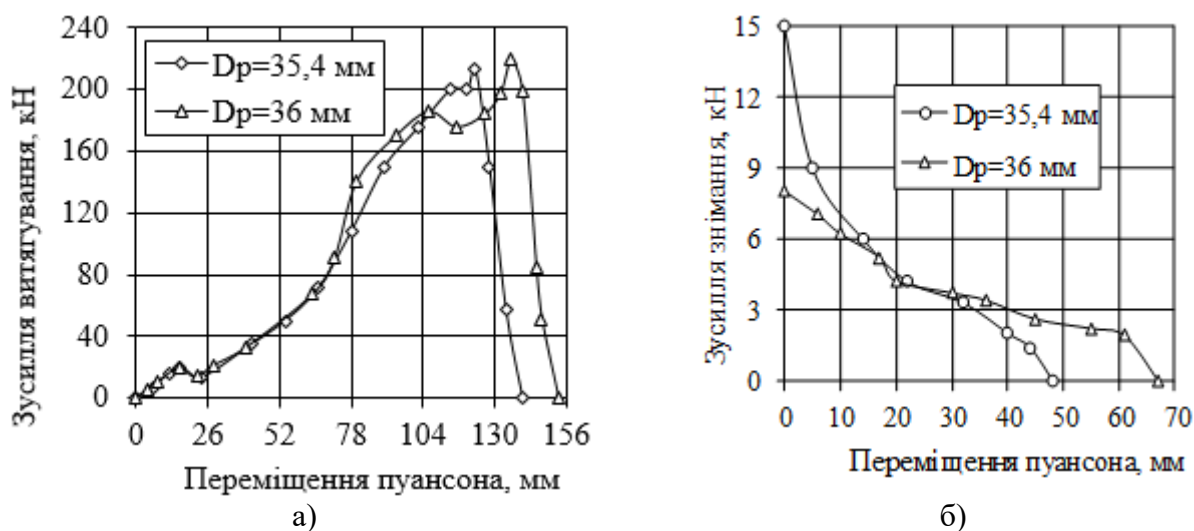


Рис. 5. Залежності зусиль витягування та подальшого знімання виробу від переміщення пуансонів:

а – залежності зусиль витягування, б – залежності зусиль знімання

Максимальні напруження у здеформованих заготовках виникають при найбільших величинах зусилля витягування. Вказані величини напружень виникають на стадії витягування торця здеформованої заготовки в зазор між пуансоном та матрицею. На рис. 6 показані розподіли компонент напружень та температури у здеформованих заготовках при найбільшому значенні зусилля витягування виробу пуансоном із $D_p=35,4$ мм. Розподіл радіальних напружень σ_r приведений на рис. 6, а. У цей момент витягування торець стінки здеформованої заготовки потовщується із 1,5 мм до 2,3 мм. Стискаючі радіальні напруження σ_r виникають в осередку деформації і знаходяться в межах $\sigma_r=-510\dots-950$ МПа. В циліндричній частині здеформованої заготовки виникають розтягувальні напруження σ_r і досягають максимального значення $\sigma_r=950$ МПа в стінці донної частини. Найбільші розтягувальні осьові на-

пруження величиною $\sigma_z=840$ МПа виникають в зовнішніх шарах металу стінки циліндричної частини здеформованої заготовки на початку радіуса заокруглення пуансона, а у внутрішніх шарах металу стінки отримано $\sigma_z=460$ МПа (рис. 6, б). В осередку деформації ці напруження на поверхні заготовки, яка контактує з матрицею, стають стискаючими. У стінці здеформованої заготовки на радіусі заокруглення пуансона осьові напруження досягають величини $\sigma_z=460$ МПа. Розподіл тангенціальних напружень σ_θ наведений на рис. 6, в. По всій довжині здеформованої заготовки, крім осередку деформації та в зазорі між матрицею і пуансоном, виникають розтягувальні напруження σ_θ , максимальні значення яких в межах $\sigma_\theta=420\dots720$ МПа отримані в донній частині здеформованої заготовки. У стінці циліндричної частини ці напруження досягають значень $\sigma_\theta=175\dots420$ МПа. В осередку деформації напруження σ_θ стискаючі та мають значення $\sigma_\theta=-100\dots-400$ МПа. При таких величинах σ_θ відсутнє складкоутворення на здеформованій заготовці при витягуванні. Найбільші величини інтенсивності напружень σ_i виникають в осередку деформації у заготовці (рис. 6, г). У циліндричній частині здеформованої заготовки величина цих напружень знаходиться в межах $\sigma_i=413\dots760$ МПа, що дозволяє прогнозувати величину межі текучості здеформованого металу величиною $\sigma_s=580$ МПа. При формоутворенні витягуванням в матриці спеціального профіля підвищується температура здеформованого металу, яка досягає величини $T=75^\circ\text{C}$ в осередку деформації (рис. 6, д). Інша частина здеформованої заготовки одразу охолоджується до кімнатної температури.

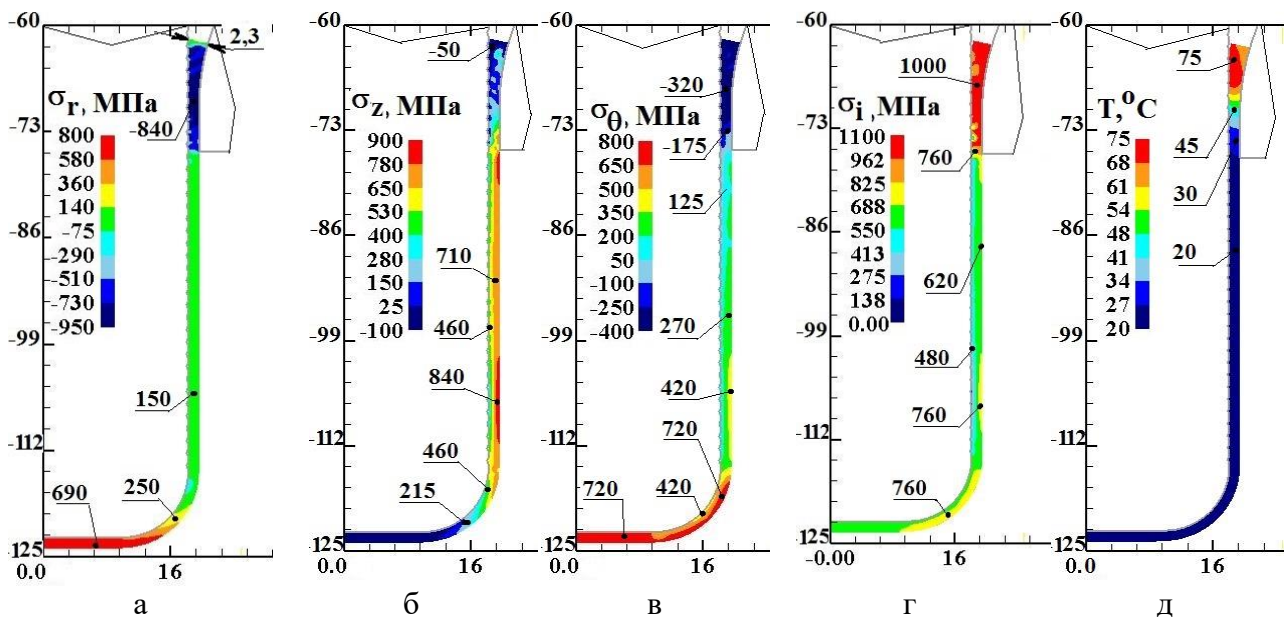


Рис. 6. Розподіли компонент напружень та температури у здеформованих заготовках при найбільшому значенні зусилля витягування виробу пуансоном із $D_p=35,4$ мм:

а – розподіл радіальних напружень σ_r , б – розподіл осьових напружень σ_z , в – розподіл тангенціальних напружень σ_θ , г – розподіл інтенсивності напружень σ_i , д – розподіл температури T . Розміри по вісях координат наведені в міліметрах

Кінцеві розподіли компонент деформацій, ступеня використання ресурсу пластичності у здеформованій заготовці та розміри виробу при витягуванні пуансоном із $D_p=35,4$ мм зображені на рис. 7. По всій довжині циліндричної частини виникають розтягувальні радіальні деформації ε_r , які мають максимальну величину в зоні торця заготовки $\varepsilon_r=0,97$ з подальшим зменшенням до нульових значень у стінці на радіусі заокруглення пуансона

(рис. 7, а). Стискаючі осьові деформації ε_z мають невелику величину (рис. 7, б). В той же час по довжині циліндричної частини zdeформованої заготовки виникають значні стискаючі тангенціальні деформації ε_θ , які досягають величини $\varepsilon_\theta = -0,91$ в зоні торця заготовки з поступовим зменшенням до $\varepsilon_\theta = -0,12$ у стінці на радіусі заокруглення пуансона (рис. 7, в). Аналогічний характер має розподіл інтенсивності деформацій ε_i по об'єму zdeформованої заготовки, який показаний на рис. 7, г. Результатом напружено-деформованого стану при формоутворенні є ступінь використання ресурсу пластичності zdeформованого металу (рис. 7, д). Прикладання тягнучого зусилля за допомогою зпрофільованого пуансона приводить до того, що максимальна величина вичерпаного ресурсу пластичності знаходиться не у стінці на радіусі заокруглення пуансона, як при витягуванні традиційним пуансоном, а зосереджена у циліндричній частині zdeформованої заготовки ($\psi = 0,4$). Форма та розміри половини виробу зображені на рис. 7, е. Необхідно відмітити, що під час зворотного ходу пуансона при зніманні виробу виконується вирівнювання виступів на внутрішній поверхні виробу, які отримані під час витягування. При даних розмірах заготовки і деформуючого інструмента отриманий виріб має висоту 63 мм та практично однакову товщину стінки 1,3 мм по всій довжині.

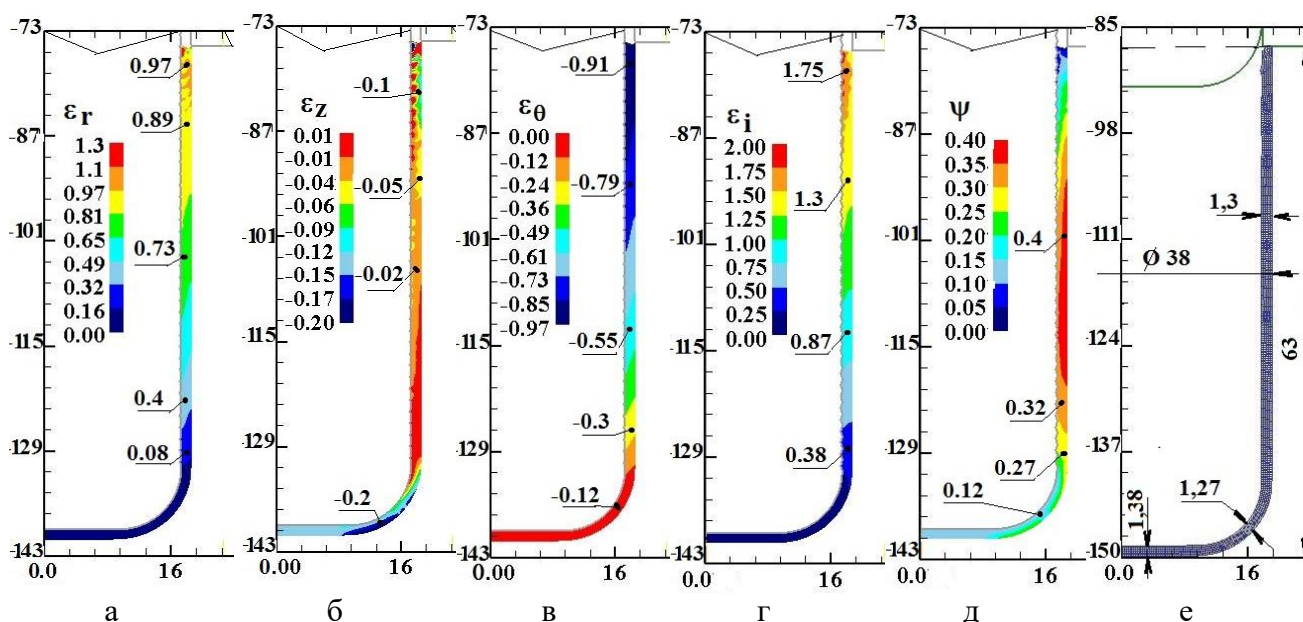


Рис. 7. Розподіли компонент деформацій, ресурсу пластичності у zdeформованій заготовці та розміри виробу при витягуванні пуансоном із $D_p = 35,4$ мм:

а – розподіл радіальних деформацій ε_r , б – розподіл осьових деформацій ε_z , в – розподіл тангенціальних деформацій ε_θ , г – розподіл інтенсивності деформацій ε_i , д – розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ , е – розміри половини виробу. Розміри по вісях координат наведені в міліметрах

Розподіли компонент напружень та температури у zdeформованих заготовках при найбільшому значенні зусилля витягування виробу пуансоном із $D_p = 36$ мм приведені на рис. 8. Таке значення зусилля виникає, коли торець заготовки повністю заходить в зазор між пуансоном та матрицею. Дещо більше максимальна величина зусилля витягування, в порівнянні з попереднім випадком, приводить до підвищеного рівня напружень у zdeформованій заготовці. Максимальні по абсолютній величині стискаючі радіальні напруження $\sigma_r = -933$ МПа виникають в осередку деформації (рис. 8, а). У донній частині радіальні напруження стають розтягувальними та знаходяться в межах $\sigma_r = 484 \dots 710$ МПа. У стінці циліндричної частини zdeформованої заготовки виникають розтягувальні осьові напруження

σ_z . Безпосередньо після виходу із калібруючого пояса матриці ці напруження мають максимальну величину $\sigma_z=960$ МПа у зовнішніх шарах металу стінки заготовки з подальшим зменшенням до $\sigma_z=360$ МПа у стінці на радіусі заокруглення пуансона (рис. 8, б).

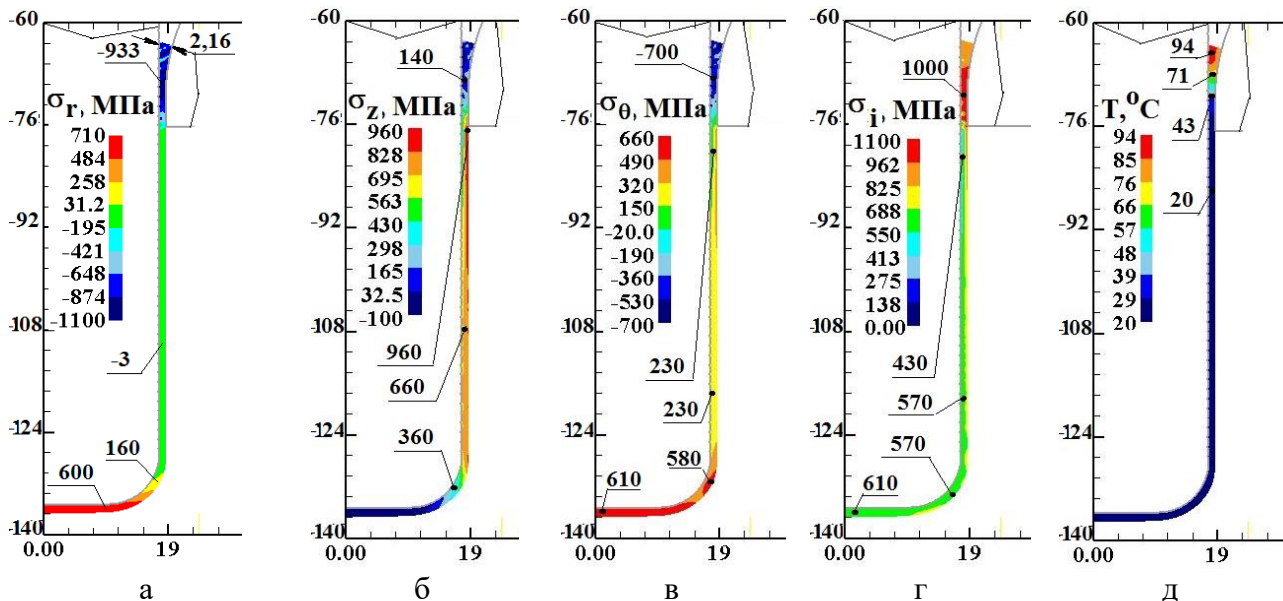


Рис. 8. Розподіли компонент напружень та температури у zdeформованих заготовках при найбільшому значенні зусилля витягування виробу пуансоном із $D_p=36$ мм:

а – розподіл радіальних напружень σ_r , б – розподіл осевих напружень σ_z , в – розподіл тангенціальних напружень σ_θ , г – розподіл інтенсивності напружень σ_i , д – розподіл температури T . Розміри по вісях координат наведені в міліметрах

Тільки в осередку деформації виникають стискаючі тангенціальні напруження величиною $\sigma_\theta=-700$ МПа. У циліндричній частині zdeформованої заготовки виникають розтягувальні тангенціальні напруження в межах $\sigma_\theta=230\dots580$ МПа, які досягають максимального значення $\sigma_\theta=610$ МПа у донній частині (рис. 8, в). Розподіл інтенсивності напружень σ_i приведений на рис. 8, г. По ширині стінки циліндричної частини ці напруження знаходяться в межах $\sigma_i=550\dots825$ МПа. В осередку деформації отримано $\sigma_i=1000$ МПа. При формуванні виробу температура zdeформованого металу в осередку деформації досягає величини $T=94^\circ\text{C}$, тому необхідно уточнювати вимоги до змащень, які використовують в процесах холодного витягування.

Розподіли компонент деформацій, ресурсу пластичності у zdeформованій заготовці та розміри виробу при витягуванні пуансоном із $D_p=36$ мм зображені на рис. 9. В порівнянні з попереднім випадком витягування величини деформацій також збільшуються. У верхній зоні zdeформованої заготовки розтягувальні деформації зростають із $\varepsilon_r=0,97$ до $\varepsilon_r=1,3$ (рис. 9, а). Далі величини цих деформацій зменшуються до величини $\varepsilon_r=0,97$ в місці переходу циліндричної частини в радіус заокруглення. Осьові деформації стискаючі в циліндричній частині zdeформованої заготовки і знаходяться в межах $\varepsilon_z=-0,15\dots-0,22$ (рис. 9б). Розподіл тангенціальних деформацій ε_θ наведений на рис. 9, в. Деформації стискаючі, в зоні торця zdeформованої заготовки отримано $\varepsilon_\theta=-0,98$, по середині циліндричної частини – $\varepsilon_\theta=-0,6$, у донній частині – $\varepsilon_\theta=-0,18$. В порівнянні із попереднім випадком витягування, також отримані більші значення інтенсивності деформацій ε_i (рис. 9, г). В зоні торця zdeформованої заготов-

ки інтенсивність деформацій збільшується з $\varepsilon_i = 1,7$ до $\varepsilon_i = 2,5$, а в місці переходу циліндричної частини в донну – з $\varepsilon_i = 0,38$ до $\varepsilon_i = 0,48$. Більш інтенсивне пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією в даному випадку витягування приводить до зростання величини вичерпаного ресурсу пластичності здеформованого металу, який досягає значення $\psi = 0,6$ (рис. 9, д). При цьому залишається можливість подальшого потоншення стінки без виконання проміжного відпалу здеформованої заготовки. Форма та розміри половини виробу зображені на рис. 9, е. Тут також має місце вирівнювання виступів на внутрішній поверхні виробу під час знімання його з пуансону. Мінімальний односторонній зазор між пуансоном та матрицею $z = 1$ мм забезпечує таку ж товщину стінки по всій довжині циліндричної частини виробу та збільшення висоти виробу з 63 мм до 76 мм в порівнянні з витягуванням пуансоном із $D_p = 35,4$ мм.

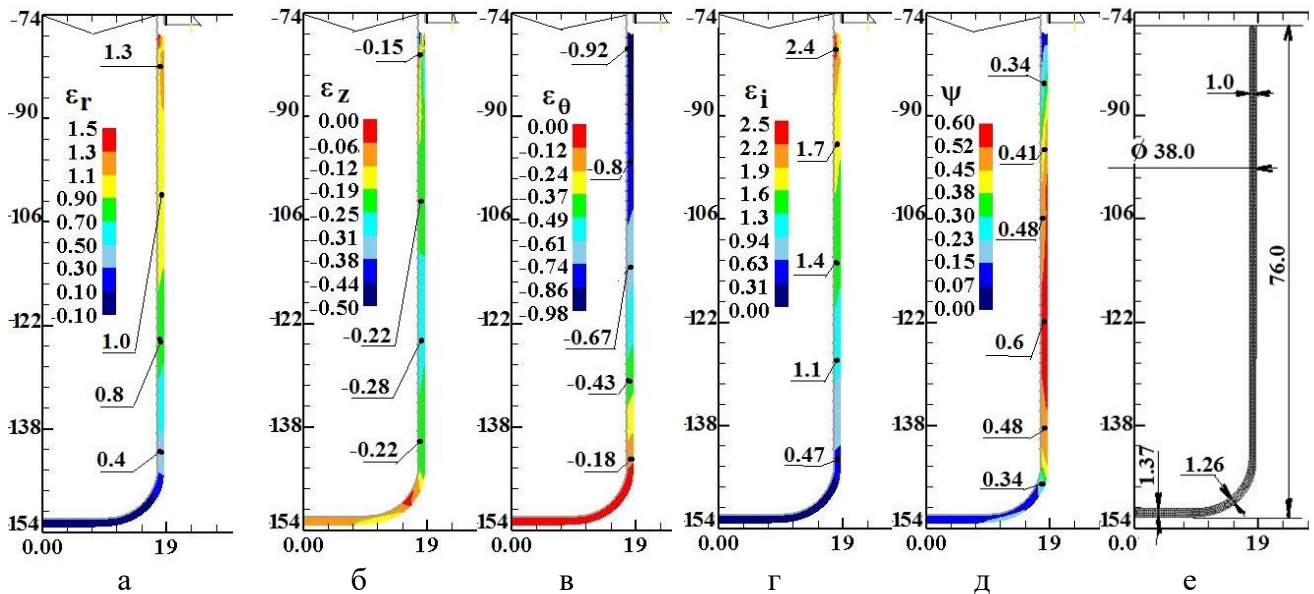


Рис. 9. Розподіли компонент деформацій, ресурсу пластичності у здеформованій заготовці та розміри виробу при витягуванні пуансоном $D_p = 36$ мм:

а – розподіл радіальних деформацій ε_r , б – розподіл осьових деформацій ε_z , в – розподіл тангенціальних деформацій ε_θ , г – розподіл інтенсивності деформацій ε_i , д – розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ , е – розміри половини виробу. Розміри по вісях координат наведені в міліметрах

ВИСНОВКИ

З використанням метода скінченних елементів проведений аналіз комбінованого витягування зпрофільованим пуансоном листових заготовок із нержавіючої сталі 12X18H10T в одноконусній матриці спеціального профілю. Встановлено, що використання зпрофільованого пуансона, бокова поверхня якого утворена перетином торів з постійним діаметром перерізу, створює тягнуче зусилля до стінки здеформованої заготовки в зазорі між пуансоном і матрицею завдяки заповненню здеформованим металом впадин на пуансоні. Виявлено, що дія такого зусилля забезпечує розвантаження донної частини здеформованої заготовки за рахунок зменшення розтягувальних осьових і тангенціальних напружень. Прикладання тягнучого зусилля приводить до скорочення в 2 рази кількості переходів формоутворення виробів та забезпечує збільшення ступеня деформації при потонненні стінки. Розрахунком визначені зусилля витягування та зусилля знімання виробів із пуансонів, кінцеві форми і розміри виробів, напружено-деформований стан, ступінь використання ресурсу пластичності та температура здеформованого металу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп.* / В. П. Романовский. – Ленингр. отд-ние: Машиностроение, 1979. – 520 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. Валиев С.А. *Комбинированная глубокая вытяжка листовых заготовок / С.А.Валиев.* – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
5. Калюжний О.В. *Комбіноване витягування вісесиметричних порожнистих виробів з листових заготовок із сталі AISI-316L в одноконусній матриці та матриці спеціального профілю / О.В. Калюжний, С.С. Соколовська // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2016. – №1 (42). – С. 157–164.*
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. – №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: НТУ «ХПІ», 2013. – № 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. – № 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». – 292 с.*
10. Калюжний О.В. *Комбіноване витягування вісесиметричних порожнистих виробів із листових заготовок з різних матеріалів в двоконусній традиційній матриці та матриці спеціального профілю / О.В. Калюжний, С.С. Соколовська // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – №2 (41). – С. 203–211.*

REFERENCES

1. Romanovskiy V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke. 6-e yzd., pererab. y dop.* / V. P. Romanovskiy. – Lenyng. otd-nye: Mashynostroenye, 1979. – 520 s.
2. *Kovka y shtampovka: Spravochnik: V 4 t. T. 4. Lystovaja shtampovka / Pod red. A.D. Matveeva; Red. sovet: E.Y. Semenov (pred.) [y dr.].* – M.: Mashynostroenye, 1985–1987. – 544 s.
3. Averkjev Ju. A. *Tehnologija holodnoj shtampovky / Ju. A. Averkjev, A. Ju. Averkjev.* – M: Mashynostroenye, 1989. – 304 s.
4. Valeyev S.A. *Kombynyrovannaja glubokaja vitjazhka lystovih zagotovok / S.A.Valeyev.* – M: Mashynostroenye, 1973. – 176 s.
5. Kaljuzhnyj O.V. *Kombinovane vytjaguvannja visesymetrychnyh porozhnystyh vyrobiv z lystovyh zagotovok iz stali AISI-316L v odnokonusnij matryci ta matryci special'nogo profilju / O.V. Kaljuzhnyj, S.S. Sokolovs'ka // Obrabotka materyalov davlenyem : sbornyk nauchnih trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2016. – №1 (42). – S. 157–164.*
6. Kaljuzhnyj O.V. *Zmenschennja kil'kosti perehodiv vytjaguvannja visesymetrychnyh vyrobiv z vykorystannjam matryci special'nogo profilju / O.V. Kaljuzhnyj // Obrabotka materyalov davlenyem : sbornyk nauchnih trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2013. – №4 (37). – S. 93–97.*
7. Kaljuzhnyj O.V. *Zmenschennja zusyllja ta pidvyshhennja produktyvnosti formoutvorennja pry kombinovanomu vytjaguvanni visesymetrychnyh vyrobiv / O.V. Kaljuzhnyj // Visnyk NTU «HPI». Serija «Novi rishennja v suchasnyh tehnologijah». – Harkiv: NTU «HPI», 2013. – № 42. – S. 126–131.*
8. Kaljuzhnyj O.V. *Porivnjal'nyj analiz efektyvnosti procesu kombinovanogo vytjaguvannja v dvokonusnij matryci ta matryci special'nogo profilju / O.V. Kaljuzhnyj // Obrabotka materyalov davlenyem: sbornyk nauchnih trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – № 1(38). – S. 32–37.*
9. Kaljuzhnyj O.V. *Intensyfikacija formoutvorjujuchyh procesiv holodnogo lystovogo shtampuvannja / O.V. Kaljuzhnyj, V.L. Kaljuzhnyj. – K.: TOV «Sik Grup Ukraïna». – 292 s.*
10. Kaljuzhnyj O.V. *Kombinovane vytjaguvannja visesymetrychnyh porozhnystyh vyrobiv iz lystovyh zagotovok z riznyh materialiv v dvohkonusnij tradycijnij matryci ta matryci special'nogo profilju / O.V. Kaljuzhnyj, S.S. Sokolovs'ka // Obrabotka materyalov davlenyem : sbornyk nauchnih trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2015. – №2 (41). – S. 203–211.*

Калюжний О. В. – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПІ»

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

E-mail: Av-k@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 06.03.2017 г.