

УДК 621. 9

Калюжний О. В.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДБОРТУВАННЯ З ПОТОНШЕННЯМ ОТВОРІВ У ЗПРОФІЛЬОВАНІЙ ЗАГОТОВЦІ

Одним із широко розповсюджених формоутворюючих процесів листового штампування є відбортування отворів. В роботі [1] встановлено вплив радіуса заокруглення матриці на кінцеву геометрію виробу, підібрані діаметри отворів, які забезпечують однакову висоту стінки при різних радіусах заокруглення матриці. Показано, що традиційне відбортування приводить до потоншення та викривлення zdeформованої частини заготовки. Для зменшення викривлення необхідно використовувати додаткову операцію відбортування з потоншенням стінки. Потоншення та викривлення приводить до зниження надійності і довговічності конструкцій, які складені з відбортованих деталей з іншими виробами, що з'єднані між собою за допомогою різьби та зварювання. Крім того, зменшення товщини стінки при відбортуванні отворів приводить до зниження висоти циліндричної частини, що отримується подальшим потоншенням. Розрахунково-експериментальний аналіз впливу відносної товщини заготовки на силові режими та якість виробів при відбортуванні наведений в джерелі [2]. Показано, що при відбортуванні отворів в заготовках з різною відотною товщиною також мають місце потоншення і викривлення стінки. В роботі [3] проведений аналіз силових режимів та якості виробів при відбортуванні отворів пуансонами різної геометричної форми та проведено порівняння з даними з джерела [4]. Встановлені величини потоншення та викривлення при відбортуванні плоским, конічним та сферичним пуансонами. Для відбортування отворів з отриманням стінки постійної товщини була запропонована попередньо зпрофільована листова заготовка [5, 6]. Навколо отвору утворюють потовщення частини заготовки, що відбортовується, завдяки формуванню отвору видавлюванням з подальшим пробиванням перемички. Після відбортування вказаної заготовки можна отримати відбортовану частину з постійною товщиною, яка дорівнює товщині вихідної заготовки. Це відкриває можливості суттєвого збільшення висоти циліндричної частини заготовки при подальшому її потонненні. В теперішній час відсутні дані по відбортуванню з потоншенням попередньо зпрофільованої листової заготовки.

Метою даної роботи є визначення параметрів відбортування отворів з потоншенням у зпрофільованій заготовці та порівняння результатів з традиційним відбортуванням.

Для вирішення даної задачі було використано традиційну листову (постійної товщини) та зпрофільовану (змінної товщини) заготовки з мало вуглецевої сталі. В першій заготовці отвір під відбортування отриманий механічною обробкою, в другій – холодним видавлюванням з утворенням необхідного профілю навколо отвору і подальшим пробиванням перемички. Відбортування виконували сферичними пуансонами різного діаметру. Моделювання процесу відбортування проводили за допомогою скінченно-елементних моделей з використанням ліцензованої програми Deform-2D. Розроблені математичні моделі враховували геометричну форму робочого інструменту, тертя на контактуючих поверхнях, пружні властивості сталі, зміцнення zdeформованого металу по діаграмі істинних напружень, розвантаження після пластичної деформації та можливість руйнування при холодній формозмінні. Процес відбортування був розподілений на певну кількість кроків навантаження до отримання кінцевих розмірів виробів. Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким.

Для отримання зпрофільованої заготовки спочатку виконували моделювання формоутворення отвору видавлюванням та подальше побиванням перемички. Залежність зусилля видавлювання (максимальне значення 320 КН) від переміщення пуансону та zdeформована заготовка в розрізі приведені на рис. 1 і рис. 2 відповідно. При цьому в zdeформованій заготовці,

для врахування технологічної спадковості при розрахунку відбортуння, були збережені накопичені деформації і напруження. Величина зусилля пробивання перемички зображена на рис. 3. Зпрофільована заготовка в розрізі після пробивання перемички показана на рис. 4.

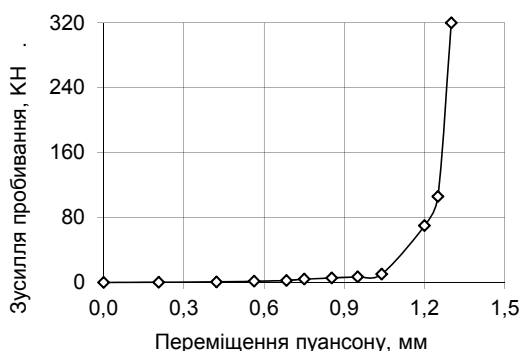


Рис. 1. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансону

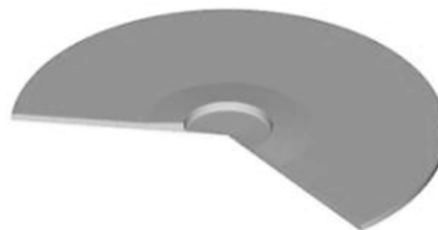


Рис. 2. Заготовка в розрізі після видавлювання

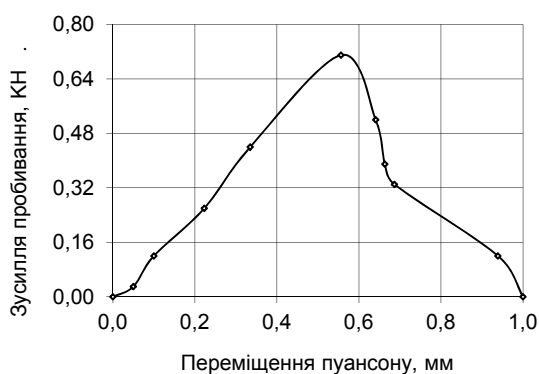


Рис. 3. Залежність зусилля пробивання від переміщення пуансону



Рис. 4. Заготовка в розрізі після пробивання перемички

Розрахункові схеми для відбортуння отворів показані на рис. 5. Для моделювання традиційного відбортуння використовували вісесиметричну заготовку із маловуглецевої сталі 08 товщиною  $S_0 = 1,5$  міліметрів (мм) і діаметром 100 мм з попередньо утвореним отвором радіусом  $R_0 = 10$  мм (рис. 1, а). Розміри зпрофільованої заготовки, яка отримана видавлюванням і пробиванням перемички: максимальний розмір потовщеної частини  $S_n = 2,2$  мм зі зменшенням до вихідної товщини  $S_0 = 1,5$  мм на радіусі  $R_l = 22$  мм (рис. 1, б).

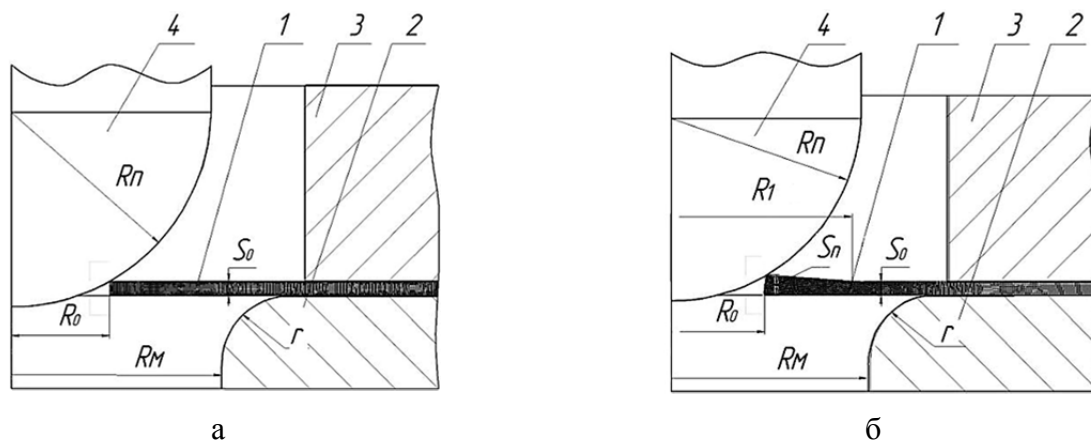


Рис. 5. Розрахункові схеми відбортуння:  
а – традиційне відбортуння; б – відбортуння зпрофільованої заготовки

Для відбортування отворів використовували матрицю з радіусом  $R_m = 21,5$  мм та три сферичні пуансоны з радіусом  $R_n = 20$  мм, який забезпечував односторонній зазор між матрицею і пуансоном рівний вихідній товщині заготовки ( $z = 1,5$  мм), та  $R_n = 20,25$  мм ( $z = 1,25$  мм) і  $R_n = 20,5$  мм ( $z = 1$  мм), що забезпечувало відбортування отворів з подальшим потоншенням стінки. Також для визначення впливу геометричної форми матриці на відбортування отворів у зпрофільованій заготовці використовували матриці з радіусами заокруглення  $r = 5$  мм, 7 мм та 10 мм.

Розрахунком встановлені залежності зусилля відбортування від переміщення пуансонів для матриці з  $r = 7$  мм. Для традиційного відбортування вказані залежності при формоутворенні з різною величиною зазору зображені на рис. 6. Завдяки зменшенню товщини стінки заготовки при відбортуванні отвору, при подальшому потонненні з  $z = 1,25$  мм зусилля практично однакове (20 КН) з величиною при  $z = 1,5$  мм. Зусилля збільшується до 38 КН при  $z = 1$  мм. Аналогічні залежності для відбортування з потоншенням зпрофільованої заготовки зображені на рис. 7. Оскільки зпрофільована заготовка має потовщення то максимальна величина зусилля відбортування більша в порівнянні з традиційним відбортуванням. Так при  $z = 1,5$  мм це значення складає 27 КН, при  $z = 1$  мм – 65 КН.

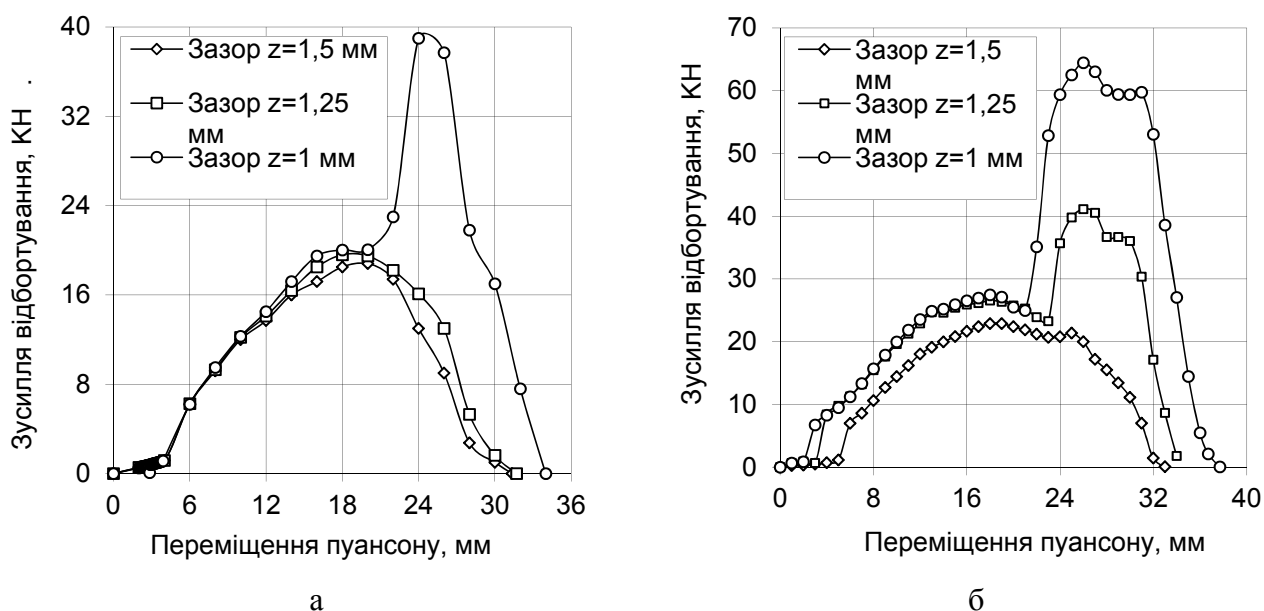


Рис. 6. Залежність зусилля від переміщення пуансону при формоутворенні з різною величиною зазору  $z$ :

а – традиційне відбортування; б – відбортування зпрофільованої заготовки

Форма і розміри деформованих частин заготовок для традиційного відбортування та відбортування зпрофільованої заготовки в матриці з  $r = 7$  мм з різною величиною зазору показані на рис. 7. При  $z = 1,5$  мм при традиційному відбортуванні має місце потоншення стінки з 1,5 мм до 1,04 мм, а також викривлення 0,46 мм (рис. 7, а). Відбортування зпрофільованої заготовки забезпечує постійну товщину стінки і виключення викривлення (рис. 7, б). При цьому висоти відбортованої частини  $h$  в обох випадках практично однакові. Зазор  $z = 1,25$  мм при традиційному відбортуванні зменшує викривлення до величини 0,26 мм, але не приводить до збільшення величини  $h$  (рис. 7, в). При відбортуванні зпрофільованої заготовки відбувається потоншення і висота відбортованої частини досягає  $h = 14,1$  мм (рис. 7, г). Подальше зменшення зазору до значення 1 мм приводить до зростання висоти до  $h = 14$  мм для традиційного відбортування (рис. 7, д) та до  $h = 16,5$  мм для зпрофільованої заготовки. Таким чином, зпрофільована заготовка забезпечує отримання деталі з більшою висотою деформованої частини.

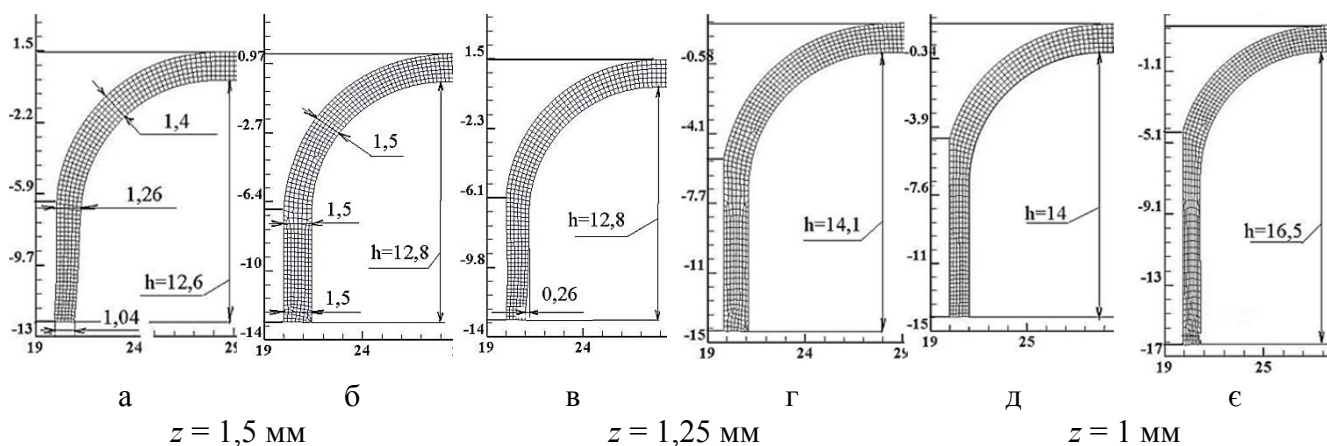


Рис. 7. Форма і розміри zdeформованих частин заготовок (розміри в міліметрах):

а, в, д – для традиційного відборткування; б, г, е – для відборткування зпрофільованої заготовки

Надійність і довговічність конструкцій, які складаються з відбортваних деталей і інших виробів, що з'єднані між собою за допомогою різьби, можливо прогнозувати по величині пропрацювання структури металу стінки холодною пластичною деформацією. На рис. 8 приведені розподіли інтенсивності деформацій в стінках zdeформованих частин заготовок, які отримані відборткуванням з зорами  $z = 1,5$  і  $1$  мм. Для обох випадків зменшення величини зазору приводить до збільшення величини інтенсивності деформацій. При  $z = 1$  мм для традиційного відборткування величини  $\varepsilon_i$  знаходяться в межах  $0,5$ – $0,7$ , а для зпрофільованої заготовки  $\varepsilon_i = 0,65$ – $1$ . Причому дві третини висоти стінки інтенсивно пропрацьовується пластичною деформацією, тому можна прогнозувати більш надійне з'єднання відбортваних деталей з іншими виробами за допомогою різьби.

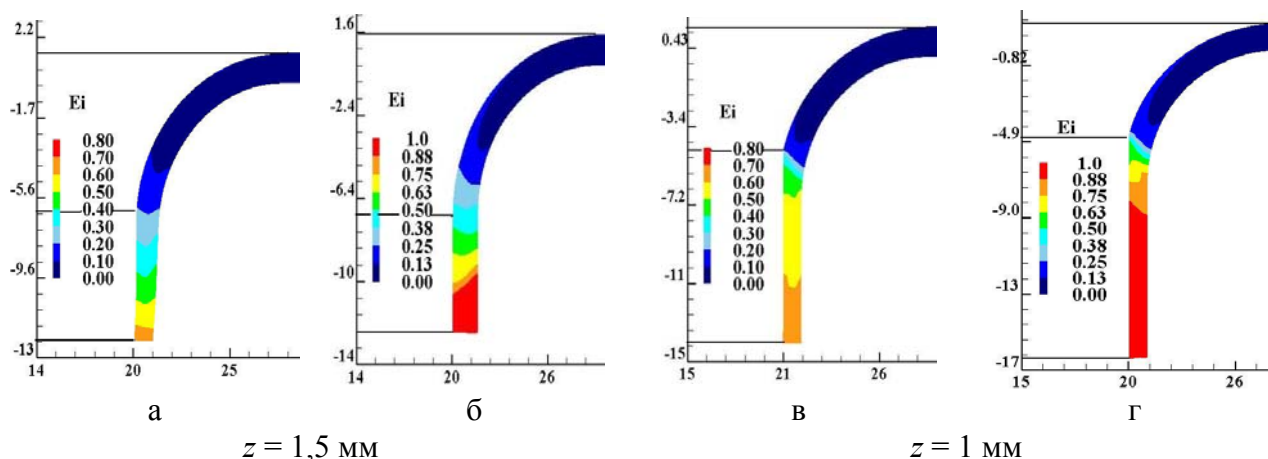


Рис. 8. Розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  ( $E_i$ ) в стінках zdeформованих частин заготовок (розміри по осях в міліметрах):

а, в – традиційне відборткування; б, г – відборткування зпрофільованої заготовки

На рис. 9 приведені розподіли ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  zdeформованого металу після відборткування. По величині  $\psi$  є можливість визначити виконання подальшої операції потоншення стінки. В розглянутих випадках ресурс пластичності zdeформованого металу вичерпується на торцях стінок. Тому виконання потоншення стінки з зазором, який менше  $1$  мм, може привести до виникнення тріщин у вказаному місці.

Далі наведемо результати розрахункового аналізу по впливу радіуса заокруглення матриці  $r$  на силові режими і формозміну металу при відборткування з потоншенням з зазором  $z = 1$  мм зпрофільованої заготовки вищенаведених розмірів.

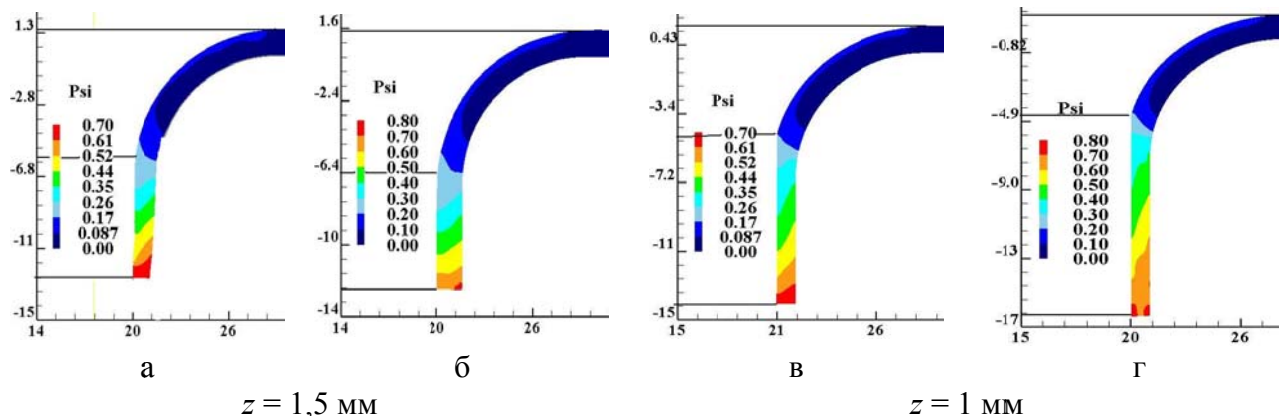


Рис. 9. Розподіли ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  ( $Psi$ ) в стінках здеформованих частин заготовок (розміри по осях в міліметрах):

а, в – традиційне відбортуння; б, г – відбортуння зпрофільованої заготовки

Величина зусилля відбортуння в залежності від радіусу  $r$  наведена на рис. 10. Збільшення радіусу з 5 мм до 10 мм приводить до зменшення на 10 КН максимальної величини зусилля відбортуння. Загальний вигляд виробу в розрізі, який отриманий в матриці з  $r = 5$  мм, зображений на рис. 11. Величина радіусу впливає на кінцеві розміри виробів (рис. 12). При  $r = 10$  мм висота відбортеної частини складає  $h = 17,8$  мм.

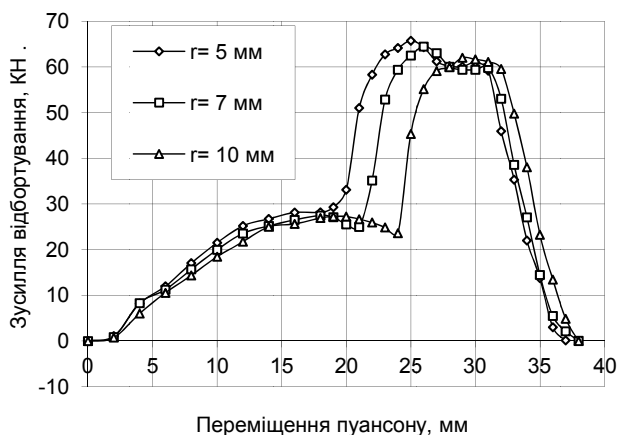


Рис. 10. Залежність зусилля відбортуння від радіуса заокруглення матриці

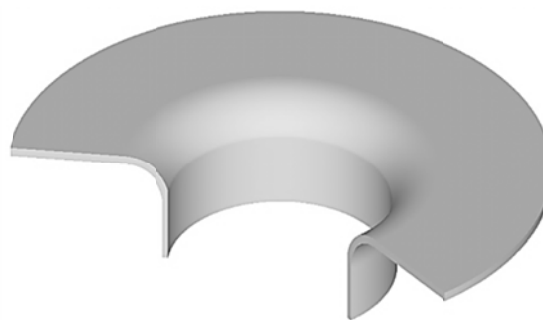


Рис. 11. Загальний вигляд деталі в розрізі, яка отримана в матриці з  $r = 5$  мм

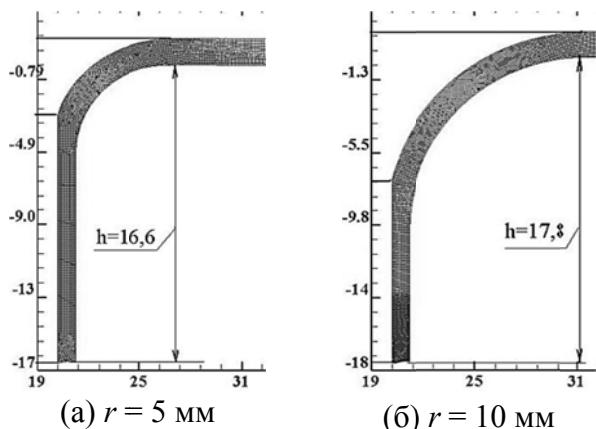


Рис. 12. Геометрична форма відбортеної частини заготовки в матриці з різним радіусом заокруглення  $r$

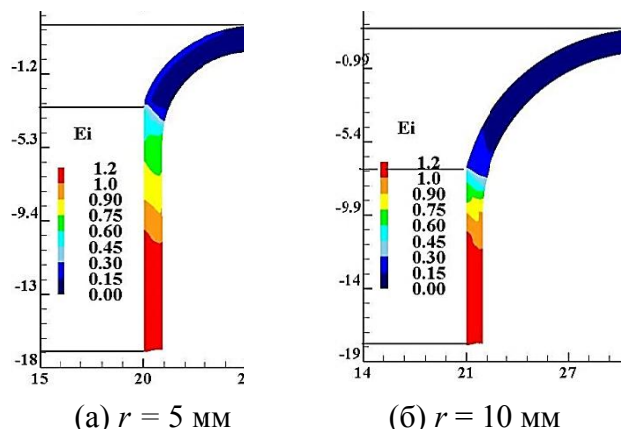


Рис. 13. Розподіл  $\epsilon_i$  в здеформованій частині заготовки, яка отримана відбортунням в матрицях з  $r = 5$  мм і 10 мм

На пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією радіус заокруглення матриці практично не впливає. На рис. 13 приведені розподіли інтенсивності деформацій в здеформованих частинах заготовок, які отримані в матрицях з  $r = 5$  мм і 10 мм. Максимальні значення знаходяться в межах 1–1,2 і розповсюджуються на однакову висоту в стінці.

### ВИСНОВКИ

Розроблені скінченно-елементні математичні моделі процесу традиційного відбортування з потоншенням та відбортування з потоншенням зпрофільованої листової заготовки сферичними пуансонами.

Встановлено вплив одностороннього зазору на силові режими формоутворення, напружено деформований стан та кінцеві форми і розміри здеформованих заготовок.

Величина зазору, яка дорівнює товщині вихідної заготовки, при традиційному відбортуванні приводить до потоншення та викривлення стінки здеформованої частини. Відбортування попередньо зпрофільованої заготовки забезпечує отримання виробу з постійною товщиною стінки без викривлення. Максимальне значення зусилля формоутворення зпрофільованої заготовки на 16 % більше в порівнянні з традиційним відбортуванням.

Форма і розміри виробу, який отриманий відбортуванням зпрофільованої заготовки, забезпечують збільшення висоти деталей, які отримані подальшим потоншенням стінки, в середньому на 16 % при зменшенні величини зазору на 0,25 мм.

Подальше потоншення стінок виробів, які отримані відбортуванням зпрофільованої заготовки, приводить до більш інтенсивного пропрацювання структури металу пластичною деформацією в стінці. Вказане може привести до підвищення надійності і довговічності конструкцій, що складені з відбортованих деталей з іншими виробами та з'єднані за допомогою різьби.

Встановлено, що збільшення радіусу заокруглення матриці при відбортуванні зпрофільованої заготовки приводить до зменшення зусилля відбортування і не суттєво впливає на пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калюжний О. В. *Модельовання методом скінченних елементів процесу відбортування отворів в листових заготовках із сталі 20* / О. В. Калюжний, С. А. Пахолко // *Тези доповідей загально університетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки*. – Київ : Національний технічний університет України «КПІ», 2010. – С. 60–62.
2. Калюжний О. В. *Розрахунково-експериментальний аналіз впливу відносної товщини заготовки на силові режими та якість виробів при відбортуванні* / О. В. Калюжний, С. А. Пахолко // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 3 (28). – С. 177–183.
3. Калюжний О. В. *Аналіз силових режимів та якості виробів при відбортуванні пуансонами різної геометричної форми* / О. В. Калюжний, С. А. Пахолко // *Вісник Національного технічного університету «КПІ»*. – Київ, 2011 р. – № 63. – С. 123–127. – (Серія «Машинобудування»).
4. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
5. Калюжний В. Л. *Виключення потоншення і викривлення торця стінки при відбортуванні отворів* / В. Л. Калюжний, С. А. Пахолко, І. П. Куліков // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. – Харків, 2011 р. – № 46. – С. 41–48.
6. Пат. 69344 Україна, МПК 21D 26/02. *Спосіб відбортування отворів* / Калюжний О. В., Пахолко С. А., Куліков І. П. – № u201112215 ; заявл. 18.10.2011 ; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8/2012.

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

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

E-mail: k\_OMD@ukr.net

*Стаття надійшла до редакції 19.03.2013 р.*