

УДК 621.981

**Калюжний О. В.
Пахолко С. А.****РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІДБОРТУВАННЯ КРУГЛИХ ОТВОРІВ У ТРАДИЦІЙНІЙ І ЗПРОФІЛЬОВАНІЙ ЗАГОТОВЦІ ІЗ АЛЮМІНІЮ**

Однією з широко розповсюджених операцій листового штампування є відбортування. Використовуючи даний процес, за допомогою пластичної деформації вихідної заготовки утворюють борт по контуру отвору, який отримано пробиванням, або по зовнішньому контуру заготовки. Процеси відбортування можуть відрізнятися за характером деформації, схемою напруженого стану і виробничим призначенням. З аналізу літературних джерел [1, 2], в яких описуються процеси відбортування та їх параметри, було встановлено, що при кожному методі відбортування присутнє викривлення відбортованої стінки, і жоден з них не забезпечує рівної товщини відбортованої стінки по всій висоті. Отримання рівної відбортованої стінки забезпечило б кращі механічні властивості та довговічність з'єднання відбортованих деталей зварюванням, за допомогою різьби та ін. Тому забезпечення рівної стінки після відбортування є одним із актуальних напрямків дослідження даного процесу. Було проведено ряд досліджень за допомогою математичного моделювання методом скінченних елементів процесу відбортування з визначенням впливу різних параметрів на нього. Так наприклад, в роботі [3] описане моделювання процесу відбортування в листових заготовках із сталі 20. Аналіз силових режимів та якості виробів при відбортуванні пуансонами різної геометричної форми (конічний, циліндричний, сферичний) розглянутий в джерелі [4]. Встановлено, що різна геометрична форма пуансону не впливає на якість відбортованої стінки, але впливає на величини зусиль відбортування при заданих одних і тих самих параметрах процесу. При використанні сферичного пуансону зусилля відбортування буде найменшим. Розрахунково-експериментальний аналіз впливу відносної товщини заготовки на силові режими та якість виробів при відбортуванні наведений в роботі [5]. На основі даних, які були отримані за допомогою теоретичних досліджень, було запропоновано спосіб відбортування круглих отворів в зпрофільованих заготовках, який забезпечує економію металу і рівну товщину стінки по всій висоті відбортованої частини [6]. Суть способу полягає в попередньому профілюванні заготовки за допомогою формоутворення отвору видавлюванням з наступними процесами пробиванням перемички і відбортування, які є суміщеними і виконуються за один перехід. На даний спосіб було отримано патент [7].

Метою роботи є проведення розрахунково-експериментального аналізу відбортування круглих отворів у традиційній та зпрофільованій листових заготовках із алюмінію. Поставлена задача порівняти теоретичні результати, які отримані за допомогою моделювання методом скінченних елементів, з експериментальними.

Для моделювання використовували вісесиметричну заготовку із алюмінію товщиною $S_0 = 1,5$ мм і діаметром 100 мм з отвором після пробивання радіусом $R_0 = 10$ мм і таку ж зпрофільовану заготовку з найбільшим розміром потовщеної частини $S_n = 2,2$ мм на довжині R_l (рис. 1). Використовувався конічний пуансон з кутом $\alpha = 60^\circ$, який забезпечував зазор рівний вихідній товщині заготовки, та матриця з радіусом заокруглення $r = 7$ мм. Пуансон рухався вниз із швидкістю деформування 2 мм/сек з переміщенням на кожному кроці навантаження $U_0 = 0,1$ мм. Робочий інструмент вважався абсолютно жорстким. Заготовка 1 встановлюється на матрицю 2 і притискається притискачем 3. Відбортування відбувається за допомогою конічного пуансона 4, який рухається вниз.

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено та виготовлено штамп для відбортування (рис. 2). Штамп представляє собою нижню плиту, матрицю, контейнер та конічний пуансон. Для з'єднання частин штампа на нижній плиті та на контейнері була нарізана різьба. Експеримент проводився на гідравлічному пресі зусиллям 500 кН.

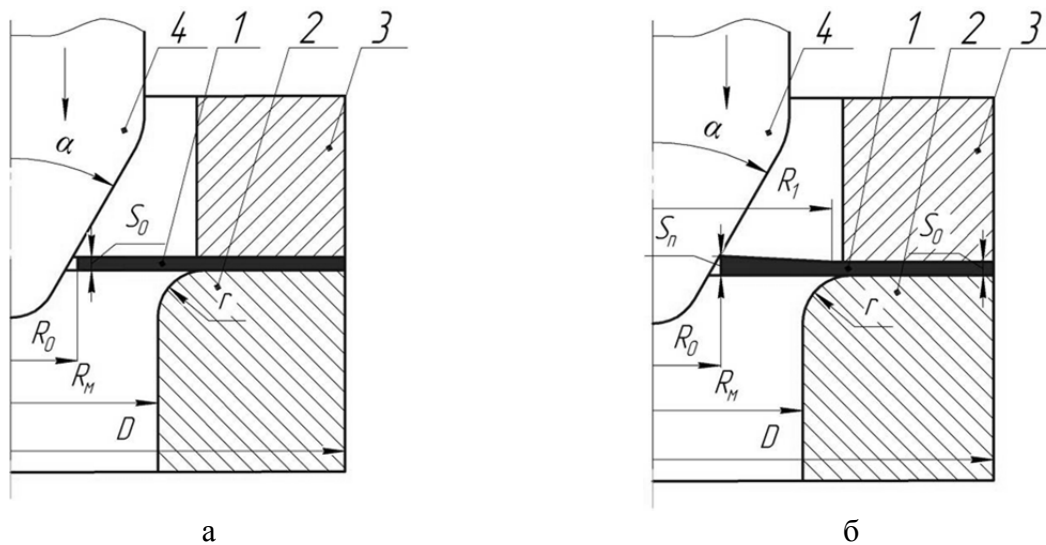


Рис. 1. Розрахункові схеми відбортування:
а – традиційна заготовка; б – спрофільована заготовка



Рис. 2. Штамп для відбортування:
а – нижня плита; б – матриця; в – пуансон; г – контейнер

Показники зусиль знімалися за допомогою контрольного манометру, що безпосередньо встановлений на гідравлічному пресі.

Заготовка для відбортування встановлюється на матрицю, яка в свою чергу встановлюється на нижню плиту. Контейнер з'єднується з нижньою плитою за допомогою різьби і водночас фіксує заготовку на матриці, і виконує роль притискача. Для забезпечення мінімального коефіцієнта тертя використовувалося змащення ВНИИПП-232.

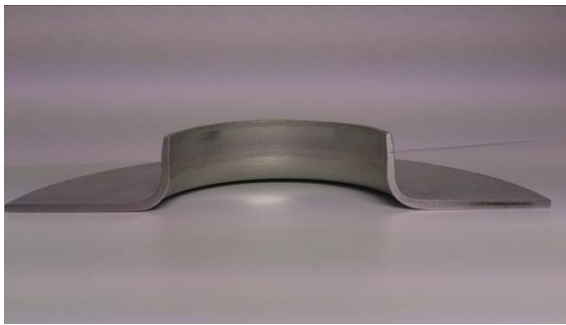
На рис. 3 показано відбортовані традиційну та спрофільовану заготовки після проведення експерименту. На рис. 4 відбортовані заготовки показані в перерізі. Як видно з рисунків, відбортовані стінки не мають дефектів у вигляді завуснів, тріщин чи розривів. З рисунків також видно, що кінцева геометрія відбортованих заготовок як змодельованих, так і експериментальних, практично не відрізняється.

Графіки зусиль відбортування традиційної і спрофільованої заготовок представлені на рис. 5 та рис. 6 відповідно. За допомогою графіків можна провести порівняльний аналіз отриманих величин зусиль відбортування, які отримані за допомогою моделювання

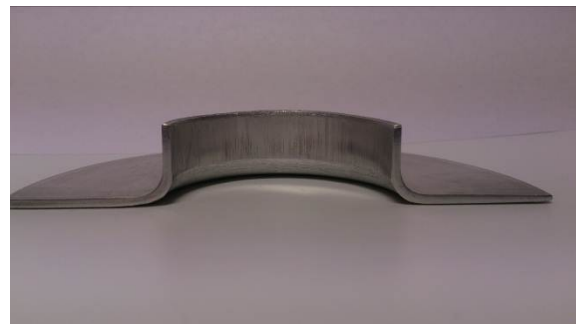
та експериментальних досліджень. Це дасть змогу перевірити точність отриманих даних при моделюванні, в результаті чого можна буде зробити висновок про можливість використання теоретичних даних для подальших розрахунків.



Рис. 3. Традиційна та зпрофільовані заготовки після відбортуння



а



б

Рис. 4. Відбортвані заготовки в перерізі:
а – традиційна; б – зпрофільована

Величина зусилля відбортуння традиційної заготовки при моделюванні становить 2,8 кН, при проведенні експерименту становила 3,0 кН. Для зпрофільованих заготовок – 4,7 кН за розрахунковими даними моделювання і 5,0 кН – за даними експерименту.

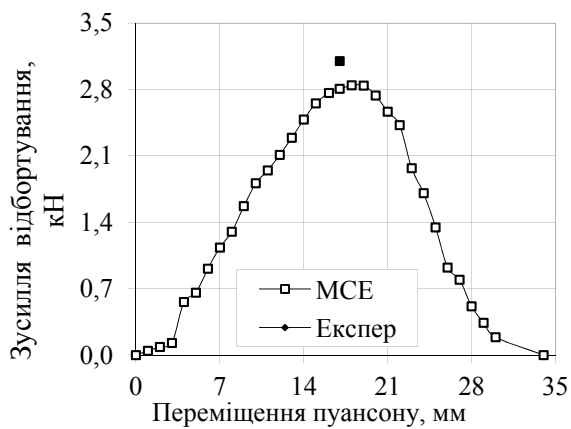


Рис. 5. Графік зусиль відбортуння традиційної заготовки при моделюванні та дані експерименту

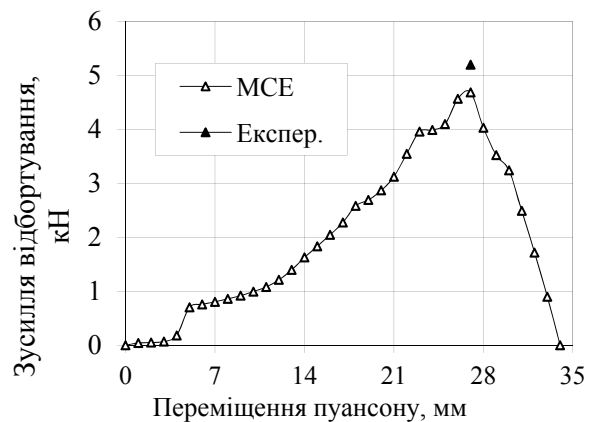


Рис. 6. Графік зусиль відбортуння зпрофільованої заготовки при моделюванні та дані експерименту

На рис. 7 показано показані форма і розміри відбортованої стінки в перерізі після моделювання та експерименту для традиційної та зпрофільованої заготовок.

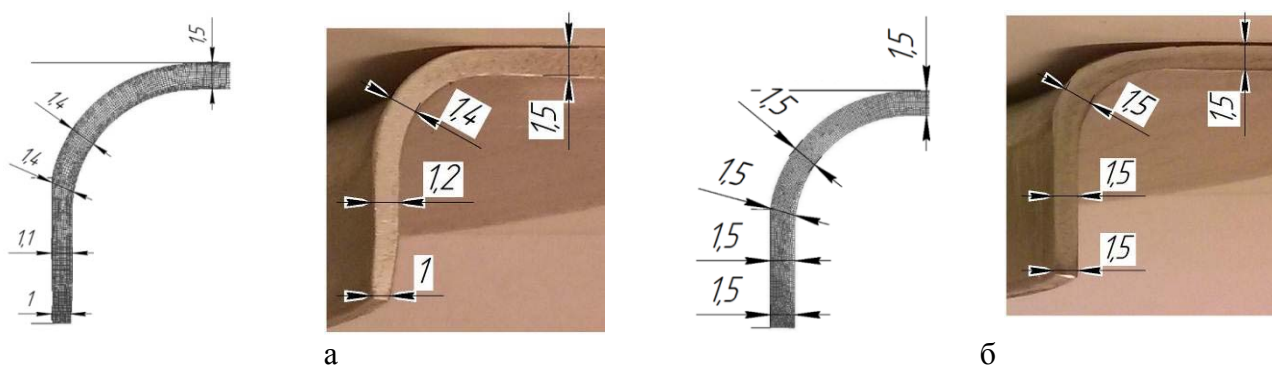


Рис. 7. Кінцева геометрія відбортованих заготовок:
а – традиційна; б – зпрофільована

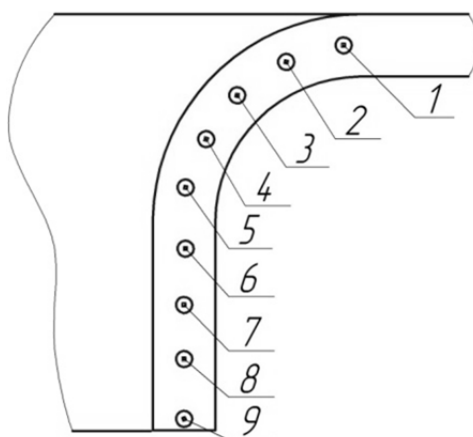


Рис. 8. Точки, в яких вимірювалась мікротвердість

З рисунків видно, що дані отримані за допомогою моделювання, практично не відрізняються від експериментальних даних. Експериментально доведено, що використання зпрофільованої вихідної заготовки забезпечує рівну товщину відбортованої стінки по всій висоті.

Для порівняння розрахункових і експериментальних даних по зміцненню здеформованого металу проводили заміри мікротвердості на мікротвердомірі ПМТ-3 в 9 точках (рис. 8) по висоті відбортованої частини від радіуса заокруглення до торця на експериментальних зразках (див. рис. 7). Величини мікротвердості наведені в табл. 1.

Для знаходження максимального значення інтенсивності напружень σ_i , застосовували формулу Г. Д. Деля:

$$\sigma_i = 0,33 \text{ HV}.$$

Таблиця 1

Експериментальні значення мікротвердості по висоті відбортованої частини

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HV, кг/мм ² (трад.)	33	36	36	32	31	30	28	31	31
HV, кг/мм ² (зпроф.)	28	29	30	28	29	28	28	28	29

Максимальні значення інтенсивності напружень σ_i та похибка між теоретичними та експериментальними даними наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Експериментальні і теоретичні максимальні значення інтенсивності напружень у відбортованих частинах

	σ_i теор, МПа	σ_i експ, МПа	Δ , %
Традиційна	105	119	12
Зпрофільована	103	100	3

ВИСНОВКИ

На основі МСЕ створені математичні моделі та проведений розрахунковий аналіз відбортування круглих отворів у традиційній і зпрофільованій листових заготовках із алюмінію.

Моделюванням встановлені силові режими відбортування, напружено-деформований стан заготовок при формоутворенні, кінцеві форми і розміри здеформованих частин заготовок.

Визначено експериментальні величини зусиль відбортування. Максимальна величина зусилля відбортування традиційної заготовки при моделюванні становить 2,8 кН, при проведенні експерименту – 3,0 кН, для зпрофільованої заготовки відповідно – 4,7 кН і 5,0 кН.

Проведено порівняння кінцевої форми і розмірів відбортованих частин заготовок. Встановлено, що дані, отримані за допомогою моделювання, практично не відрізняються від експериментальних.

Проведено порівняння значень розподілу інтенсивності напружень в здеформованих заготовках, які отримані розрахунком, та даними експерименту, що визначені по мікротвердості. Максимальна похибка між теоретичними і експериментальними даними становить 12 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – 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. Калюжний О. В. Моделювання 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. – Національний технічний університет України «КПІ». – Київ, 2010. – С. 60–62.
4. 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. – № 63. – С. 123–127.
5. 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.
6. 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.
7. Пат. 69344 Україна, МПК 21D 26/02. Спосіб відбортування отворів / Калюжний О. В., Пахолко С. А., Куліков І. П. – Заявл. 18.10.2011 ; опубл. 25.04.2012 , Бюл. № 8.

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

Пахолко С. А. – аспірант НТУУ «КПІ».

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

E-mail: Av-k@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 19.11.2013 р.