

УДК 621.9

О.В. КАЛЮЖНИЙ, канд. техн. наук, ст. викладач, НТУУ «КПІ», Київ

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ВІДБОРТУВАННЯ НА СИЛОВІ РЕЖИМИ І ЯКІСТЬ ВИРОБІВ ПРИ ВІДБОРТУВАННІ КРУГЛИХ ОТВОРІВ В ТРАДИЦІЙНІЙ ТА В ЗПРОФІЛЬОВАНІЙ ЛИСТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ

В статті розглянуто визначення розрахунковим шляхом впливу коефіцієнта відборткування на силові режими та якість виробів при відборткуванні круглих отворів сферичним пуансоном в традиційній і зпрофільованій листовій заготовці. Встановлено, що зусилля і робота деформації при відборткуванні зпрофільованих заготовок більші, чим при відборткуванні традиційних заготовок. Збільшення коефіцієнта відборткування приводить до зменшення різниці між максимальними величинами зусилля формоутворення виробів.

Ключові слова: відборткування, зпрофільована заготовка, напружено-деформований стан, стінка постійної товщини.

Вступ. Відборткування отворів у листових заготовках – широко розповсюджена формоутворююча операція холодного листового штампування. Завдяки відборткуванню можливе збільшення висоти деталей, які отримують витягуванням, а також забезпечуються роз'ємні і нероз'ємні з'єднання відборткованих деталей з іншими виробами. При відборткуванні отворів різноманітної конфігурації у традиційних листових заготовках (постійної товщини) має місце потоншення здеформованої стінки починаючи з радіусу заокруглення матриці до торця, де величина потоншення найбільша. Виникнення потоншення приводить до зменшення якості виробів, які отримані витягуванням з подальшим відборткуванням донної частини для збільшення висоти стінки та надійності і довговічності з'єднань відборткованих деталей з іншими виробами. При проектуванні технології відборткування розрахунки зводяться до визначення коефіцієнта відборткування та зусилля деформування [1-3]. Практично відсутні дані про зміну товщини по висоті відборткованої стінки, зміцненню здеформованого металу та кінцеву форму виробу (відомо, що при малих коефіцієнтах відборткування має місце крім потоншення викривлення стінки після формоутворення [4].

Для усунення дефектів у вигляді потоншення і викривлення стінки після відборткування був запропонований спосіб відборткування [5], сутність якого полягає в відборткуванні отворів у попередньо зпрофільованій заготовці. Профільування забезпечує отримання потовщення частини заготовки, яка потім відбортковується, а після відборткування вказане потовщення приводить до формоутворення стінки необхідної товщини. Потовщення виконується завдяки формоутворенню отвору видавлюванням або штампуванням обкочуванням. Метал із осередку деформації перетікає в стінку заготовки і товщина стінки збільшується до необхідної величини.

Тому актуальною задачею є визначення впливу коефіцієнта відборткування на енергосилові режими деформування, точність виробів, зміцнення здеформованого металу як при відборткуванні традиційної так і відборткуванні зпрофільованої заготовки.

Мета роботи. Метою роботи є визначення розрахунковим шляхом впливу коефіцієнта відборткування на силові режими та якість виробів при відборткуванні круглих отворів сферичним пуансоном в традиційній і зпрофільованій листовій заготовці.

Результати досліджень. Розрахунковий аналіз традиційного відборткування круглих отворів у листовій заготовці та відборткування таких отворів в зпрофільованій заготовці проводився методом скінченних елементів (МСЕ). Метал вважався ізотопним, пружно-пластичним зі зміцненням. В МСЕ використаний спосіб початкових напружень, який дозволяє врахувати при холодному формотворенні відборткуванням розвантаження і визначити кінцеві розміри виробів. При моделюванні також враховані: складна геометрія

© О. В. Калюжний, 2012

деформуючого інструменту, який був абсолютно жорстким; тертя на контактуючих поверхнях між металом і деформуючим інструментом; можливість руйнування металу при холодній формозміні з урахуванням експериментальної діаграми пластичності при визначенні ступеню використання ресурсу пластичності.

Розрахункові схеми для аналізу відборткування круглих отворів в традиційній та зпрофільованій заготовках показані на рис. 1. Задача вісесиметрична, наведені позначення на половині заготовок і деформуючого інструменту. Матеріал заготовки – мало вуглецева сталь. На рис. 1а зображено положення перед відборткуванням традиційної заготовки. На матриці 1, яка має отвір радіусом R_m і радіус заокруглення r , встановлена заготовка 2 товщиною S_o з попередньо виконаним отвором радіусом R_o та зафіксована притискачем 3. Відборткування виконується пуансоном 4, що має сферичну і циліндричну частини однакового радіусу: $R=R_{п}$. На рис. 1б показане вихідне положення при відборткуванні зпрофільованої заготовки, яка має отвір радіусом R_o , профіль товщиною $S_{п}$ під кутом α , причому вказана товщина лінійно зменшується до вихідної товщини S_o на радіусі заготовки R_1 : $R_1 = R_m + r$. Кут α при розрахунках підбирався таким чином, щоб забезпечити рівний торець відборткованої частини заготовки.

Розміри заготовки і деформуючого інструменту для відборткування традиційної заготовки наведені в таблиці 1. Основний показником для розрахунку можливості відборткування є коефіцієнт відборткування k_b [1], що визначається як відношення діаметра отвору D_o до відборткування до діаметра відборткованої частини по середині товщини стінки. В прийнятих позначеннях (див. рис. 1) $k = D_o / (D - S_o)$. Коефіцієнт відборткування залежить від величини D_o / S_o .

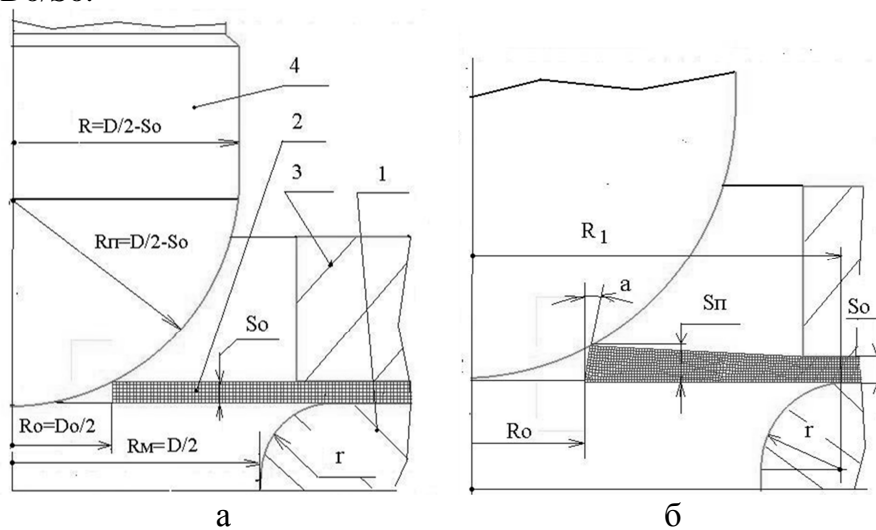


Рис. 1. – Розрахункова схема відборткування: а – відборткування традиційної заготовки, б – відборткування зпрофільованої заготовки

Таблиця 1. – Розміри заготовки і інструменту для відборткування традиційної заготовки

D_o , мм	26,9	30,15	33,5	43,5	46,9
S_o , мм	3	3	3	3	3
r , мм	10	10	10	10	10
D , мм	70	70	70	70	70
D_o / S_o	9	10	11,2	14,5	15,6
k_b	0,4	0,45	0,5	0,65	0,7

Додаткові розміри для відборткування зпрофільованої заготовки при різних значеннях коефіцієнта k приведені в табл. 2.

Таблиця 2. – Додаткові розміри для відбортуння зпрофільованої заготовки

k	0,4	0,45	0,5	0,65	0,7
R ₁ , мм	41	41	41	41	41
S _п , мм	4,6	4,4	4,12	3,65	3,55
α, град.	4,5	4	3,5	2	1,5

На рис. 2 зображені розрахункові залежності зусилля відбортуння від переміщення пуансону, які отримані при відбортунні зпрофільованої заготовки («зпр») і традиційної заготовки («тр») з різними значеннями коефіцієнта відбортуння k. У всіх розглянутих випадках зусилля деформування зпрофільованої заготовки більше чим традиційної. Зі збільшенням коефіцієнта k енергосилові режими відбортуння зменшуються.

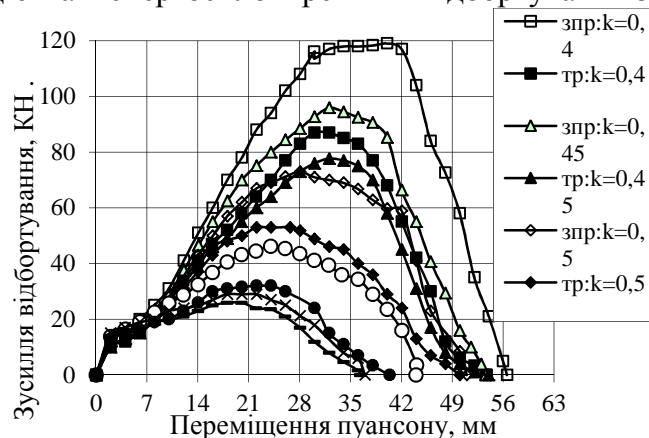


Рис. 2. – Залежність зусилля відбортуння від переміщення пуансону

На рис. 3 показані залежності максимальної величини зусилля відбортуння від коефіцієнта відбортуння при відбортунні зпрофільованої і традиційної заготовки. Зростання коефіцієнта k приводить до зменшення різниці в максимальних значеннях зусилля. Це пов'язано із зменшенням об'єму металу, де має місце осередок деформації при формоутворенні. Загальний вигляд виробів в розрізі, які отримані відбортунням отворів в традиційній і зпрофільованій заготовках з коефіцієнтом k=0,45 показані на рис. 4. При відбортунні традиційної заготовки відбувається потоншення і викривлення стінки відбортунної частини (рис. 4, а). Використання зпрофільованої заготовки забезпечує постійну товщину відбортунної стінки та виключає викривлення (рис. 4, б).

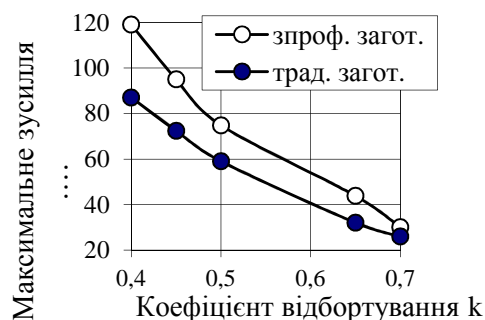


Рис. 3. – Залежність максимального зусилля відбортуння від коефіцієнта відбортуння

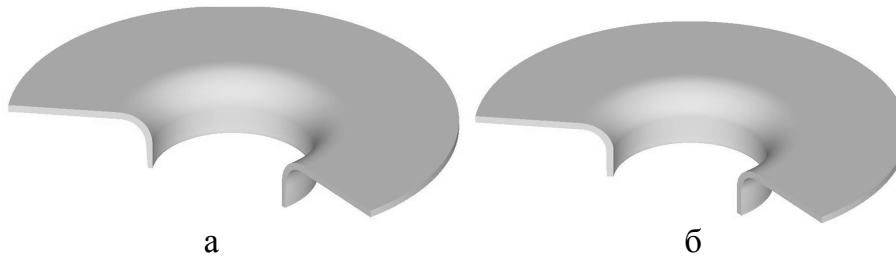


Рис. 4. – Загальний вигляд виробів, які отримані відсортуванням:
а - традиційної заготовки; б - зпрофільованої заготовки

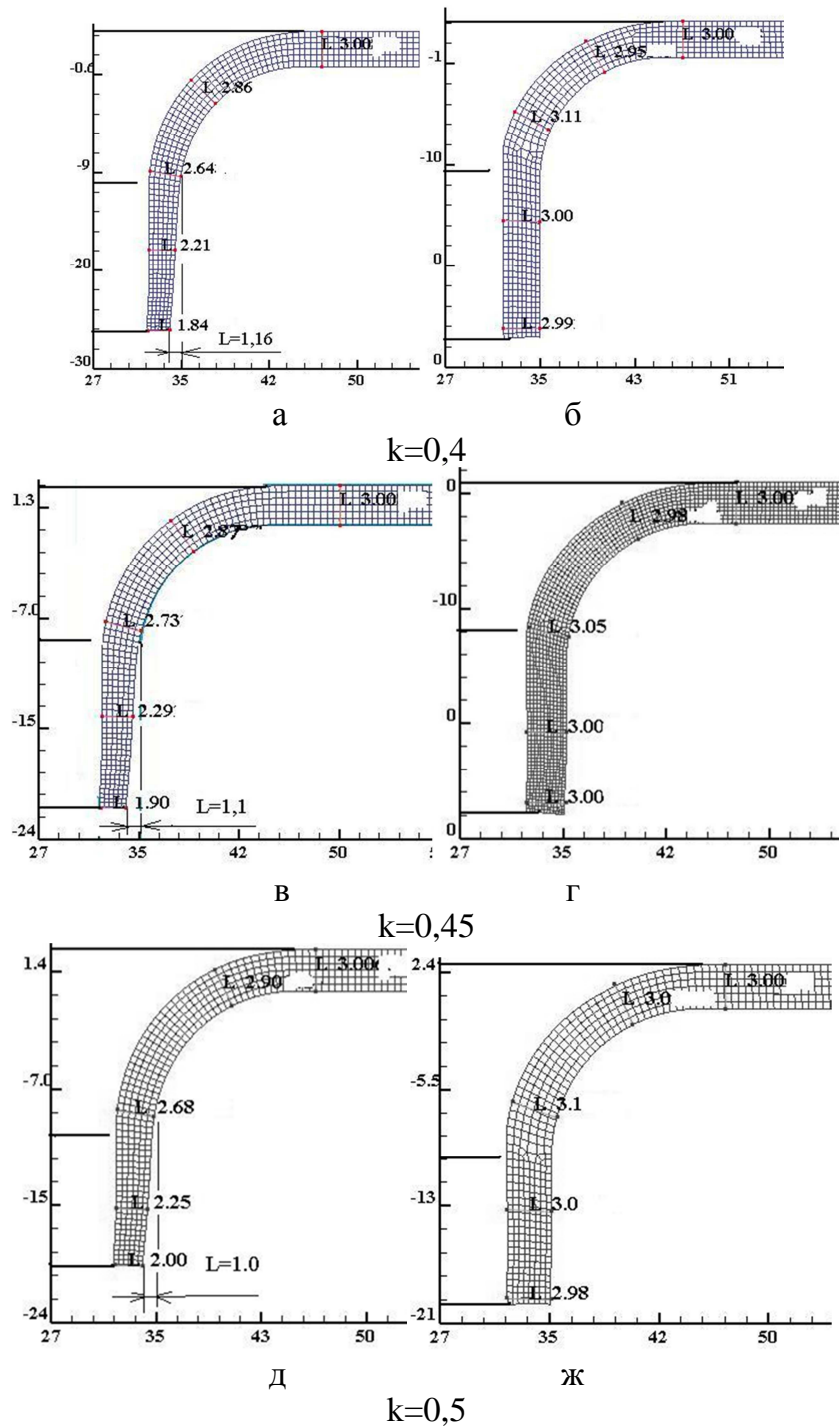


Рис. 5. – Розміри L (мм) zdeформованих частин заготовок, які отримані відбортуванням традиційної заготовки (а, в, д) та зпрофільованої заготовки (б, г, ж) з коефіцієнтами відбортування 0,4; 0,45; 0,5

Вище було відмічено, що відбортована стінка повинна бути рівною і без потоншення, що суттєво підвищить надійність і довговічність металевих конструкцій. Тому важливо на етапі проектування технології відбортування визначати кінцеві розміри відбортованої частини. На рис. 5 і 6 наведені розміри zdeформованих частин при відбортуванні традиційної та зпрофільованої заготовок з різним коефіцієнтом відбортування. При відбортуванні традиційної заготовки для всіх розглянутих величин коефіцієнта k відбувається потоншення стінки, починаючи з радіусу заокруглення матриці, та викривлення zdeформованої частини. Причому, зі збільшенням коефіцієнта відбортування, величина викривлення і потоншення стінки зменшуються. При відбортуванні з $k=0,4$ товщина стінки зменшується з 3 мм на початку радіусу заокруглення матриці до 1,84 мм на торці відбортованої частини, а величина викривлення складає 1,16 мм. Формоутворення з $k=0,7$ забезпечує отримання виробу з мінімальною товщиною стінки 2,5 мм і викривленням 0,5 мм. Розміри по осях - в міліметрах

По результатах розрахунків відбортування круглих отворів у зпрофільованій заготовці встановлено, що запропонований профіль заготовки з максимальною товщиною $S_{\text{п}}$ біля краю отвору і подальшим зменшенням товщини по лінійному закону до радіусу заготовки, який відповідає початку радіусу заокруглення матриці (див. рис. 1), забезпечує отримання zdeформованої частини заготовки з постійною товщиною стінки, яка практично дорівнює товщині вихідної заготовки S_0 . При відбортуванні заготовок з $k=0,4$ до $k=0,7$ товщина стінки zdeформованої частини заготовки відрізняється від вихідної товщини 3 мм на соті долі міліметра. Також виключене викривлення стінки.

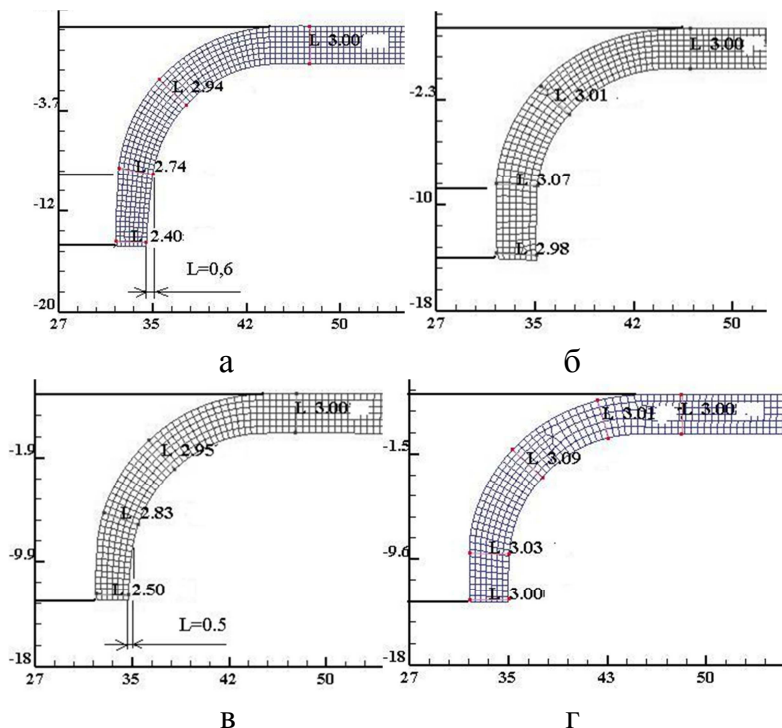


Рис. 6. – Розміри L в міліметрах zdeформованих частин заготовок, які отримані відбортуванням традиційної заготовки (а, в) та зпрофільованої заготовки (б, г) з коефіцієнтами відбортування 0,65 і 0,7)

До показників якості виробів, що отримують відбортуванням, відносять величину зміцнення zdeформованого металу, яку можна визначати по розподілу накопиченої інтенсивності деформацій та використання експериментальної діаграми істинних напружень. По величині зміцнення є можливість прогнозувати надійність і довговічність з'єднань за допомогою різьби та зварювання деталей, які отримані відбортуванням, з іншими виробами. Наступний показник – це ступінь використання ресурсу пластичності zdeформова-

ного металу. Від дозволяє оцінити можливість подальшого деформування потоншенням відбортованої стінки для збільшення її висоти.

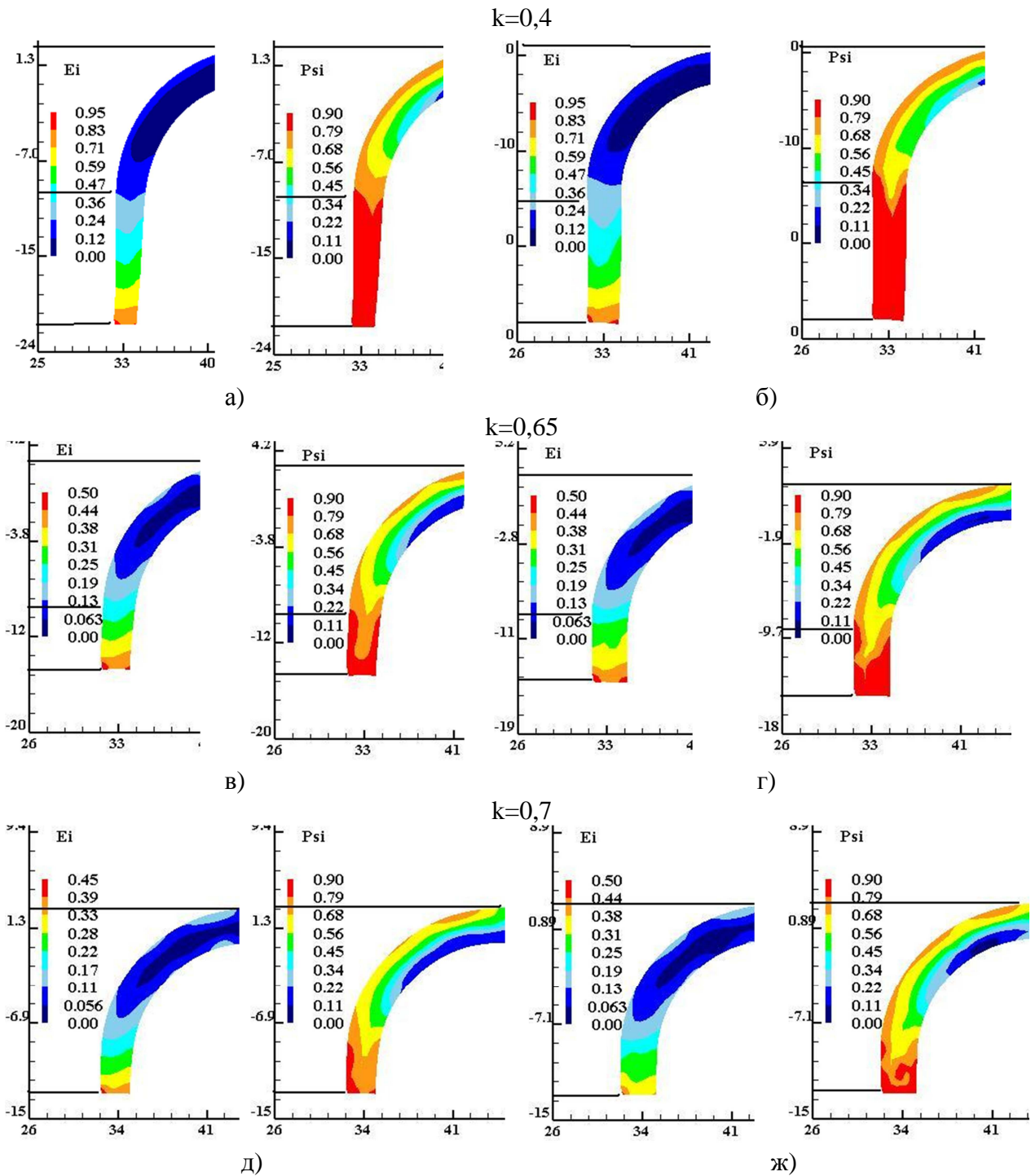


Рис. 7. – Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i (E_i) та ступеню використання ресурсу пластичності ψ (Psi) в відбортованих стінках з різним коефіцієнтом k : а, в, д – відбортування традиційної заготовки; б, г, ж – відбортування профільної заготовки

Моделювання за допомогою МСЕ відбортування традиційної і зпрофільованої заготовки дозволило визначити напружено-деформований стан при формоутворенні та встановити розподіли інтенсивності деформацій ϵ_i та ступінь використання ресурсу пластичності ψ по об'єму здеформованої заготовки. На рис. 7 приведені розподіли ϵ_i і ψ при відбортуванні традиційної та зпрофільованої заготовки з різними коефіцієнтами відбор-

тування k . При відбортуванні традиційної і профільної заготовок з $k=0,4-0,6$ завдяки однаковому (по розподілу ϵ_i) пропрацюванню структури металу холодною пластичною деформацією ресурс пластичності практично вичерпується по всій висоті циліндричної частин відбортованої стінки. Тому подальше використання способів деформування вказаної частини не можливе. Результати моделювання підтверджуються даними роботи [1] по розрахунковим коефіцієнтам відбортування для способу відбортування сферичним пуансоном. При відбортуванні зпрофільованої заготовки з коефіцієнтом відбортування більше 0,6 на торці zdeформованої частини заготовки ресурс пластичності вичерпується в більшому об'ємі, чим при традиційній заготовці. Це пов'язано з товщиною вихідної зпрофільованої заготовки. Відбортовані деталі, які отримані при $k > 0,6$, можна виконувати подальшим холодним деформуванням потоншення zdeформованої стінки для збільшення її висоти.

Висновки. 1. Запропонований спосіб відбортування отворів у листових, що забезпечує отримання відбортованої стінки з постійною товщиною, яка не менше за товщину вихідної заготовки. Для цього необхідне профілювання вихідної заготовки шляхом збільшення товщини вихідної заготовки навколо отвору.

2. Методом скінченних елементів проведено моделювання процесів відбортування круглих отворів у традиційних та зпрофільованих листових заготовках з різним коефіцієнтом відбортування. Встановлені енергосилові режими формоутворення, кінцеві форми і розміри виробів, напружено-деформований стан та ступінь використання ресурсу пластичності zdeформованого металу.

3. Встановлено, що зусилля і робота деформації при відбортуванні зпрофільованих заготовок більші, чим при відбортуванні традиційних заготовок. Збільшення коефіцієнта відбортування приводить до зменшення різниці між максимальними величинами зусилля формоутворення виробів.

4. Виявлені форма і розміри виробів після відбортування. При відбортуванні традиційної заготовки для коефіцієнтів відбортування від 0,4 до 0,7 встановлені величини потоншення та викривлення відбортованих стінок. Для вказаних коефіцієнтів використання зпрофільованих заготовок забезпечує постійну товщину та виключає викривлення zdeформованого металу.

5. Розрахунком встановлені величини ступеня використання ресурсу пластичності zdeформованого металу. При коефіцієнтах відбортування більше 0,6 можливе подальше деформування відбортованих стінок без проведення відпалу для збільшення висоти виробу.

Список літератури: 1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., пераб. и доп. // В.П. Романовский. – Л.: 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. Холодная штамповка// Ю.А.Аверкиев. Издательство Ростовского университета, 1984. – 288 с. 4. Калюжний О.В. Прогнозування та забезпечення якості виробів в процесах відбортування / О.В. Калюжний // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков; 32'2009 р. – С. 118 – 122. 5. Калюжний О.В. Спосіб відбортування отворів // О.В. Калюжний, С.А. Пахолко, І.П. Куліков. Патент України на корисну модель №69344 МПК 21D 26/02, заявка u201112215 від 18.10.2011, опубл.25.04.2012, бюл. №8/2012.

Надійшла до редколегії 10.10.2012.

УДК 621.9

Вплив коефіцієнта відбортування на силові режими і якість виробів при відбортуванні круглих отворів в традиційній та в зпрофільованій листовій заготовці / Калюжний О.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №46(952). – С.56-62. – Библиогр.: 5 назв.

В статье рассмотрено определение расчетным путем влияния коэффициента отбортовки на силовые режимы и качество изделий при отбортовке круглых отверстий сферическим пуансоном в традиционной и спрофилированной листовой заготовке. Установлено, что усилие и работа деформации при отбортовке спрофилированных заготовок больше чем при отбортовке традиционных заготовок. Увеличение коэффициента отбортовки приводит к уменьшению разницы между максимальными величинами усилия формообразования изделий.

Ключевые слова: отбортовка, спрофилированная заготовка, напряженно-деформированное состояние, стенка постоянной толщины.

In article definition of the flanging coefficient effect on force regimes and quality of details is observed at flanging of round holes by the spherical puncheon in traditional and profiled sheet preform. It is determined that the force and energy of deformation of the flanging process profiled preforms is more than at flanging of traditional preforms. Increase of a flanging coefficient leads to variance decrease between the maximum magnitudes of force of manufacture of details.

Keywords: flanging, profiled preform, strain-stress state, constant thickness walls.

УДК 621.7.044

М. К. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, доц., НАКУ «ХАИ», Харьков

Ю. В. ПРОЦАН, руководитель системного проектирования энергоустановок, ЛАВЭ, Днепропетровск

КОНЦЕПЦИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕССА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Выполнен анализ факторов, которые вызывают нестабильность формообразования листовых деталей при электрогидроимпульсной штамповке (ЭГШ), а также способы решения этой проблемы. Сформулирована концепция пресса ЭГШ с интеллектуальной системой управления, предполагающая использование обратной связи – системы определения формы заготовки на последовательных этапах формообразования.

Ключевые слова: электрогидроимпульсная штамповка, интеллектуальная система управления

Введение. Технология ЭГШ доказала свою высокую эффективность в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также для среднесерийного производства. При этом положительный результат достигается за счет упрощенной технологической оснастки, коротких сроков технологической подготовки производства. Однако широкое применение ЭГШ в промышленности сдерживается наличием некоторых ограничений, присущих этой технологии, а также недостатком и даже отсутствием специальной литературы и справочников по отладке оборудования и процессов ЭГШ, отсутствием на предприятиях специалистов по этому способу штамповки.

Анализ проблемы. В целом ограничения технологии ЭГШ связаны с нестабильностью полей давления, генерируемых каналом разряда. Нестабильность проявляется в двух аспектах: неравномерность распределения давления по поверхности заготовки и малая повторяемость этого распределения от разряда к разряду. Естественно, такая нестабильность в силовом нагружении приводит к нестабильности процесса формообразования листовой детали.

Нестабильность полей давления связана, прежде всего, с нестабильностью электрических параметров разряда в жидкости, инициируемого высоковольтным пробоем. Влияние оказывают состояние разрядных поверхностей, степень изношенности электродов, переменная электрическая проводимость среды в межэлектродном промежутке. Кроме этого, как показали исследования [1], длина канала разряда примерно в 2 раза превышает величину межэлектродного расстояния, при этом положение канала непредсказуемо. Канал разряда может занимать любое положение в объеме эллипсоидной формы между рабочими концами электродов. В зависимости от расположения канала разряда электроды могут создавать зоны «затенения» на поверхности заготовки для распространения ударных волн и гидротоков от парогазовой полости.

Важную роль играет износ рабочих поверхностей электродов. От разряда к разря-