

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КУТА ВХІДНОГО КОНУСА ДВОКОНУСНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО ВИТЯГУВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ

Методом скінченних елементів проведено моделювання процесів комбінованого витягування у конусних та двоконусних матрицях. Проведено порівняння результатів розрахунків витягування в конусних матрицях по силовим режимам з відомими даними. Досліджено вплив кута вхідного конуса двоконусної матриці на зусилля витягування, напружено-деформований стан заготовки та ресурс пластичності zdeформованого металу. Знайдено оптимальне значення кута для отримання виробів із різною товщиною стінки та донної частини.

Ключові слова: комбіноване витягування, метод скінченних елементів, кут конуса матриці, зусилля витягування, напружено-деформований стан заготовки.

Вступ. Витягування — широко розповсюджена операція холодного листового штампування, яка використовується для виготовлення вісесиметричних, коробчастих та інших порожнистих виробів. Вказані вироби використовуються на підприємствах машинобудування, приладобудування, радіотехнічного та електротехнічного профілю. Сучасне виробництво ставить задачі скорочення кількості переходів штампування, підвищення точності виробів після витягування, що приводить до зниження собівартості виробів та робить продукцію конкурентоспроможною. Традиційне витягування не відповідає вказаним вимогам, особливо по точності форми і розмірів виробів [1–3]. Використання комбінованого витягування дозволяє збільшити глибину витягування за один перехід та підвищити точність виробів завдяки потоншенню стінки. Сутність такого витягування полягає у розділі формоутворення виробу на певні стадії. При цьому, наступна стадія починається після завершення попередньої. Дані для проектування технології комбінованого витягування, які викладені в джерелі [4], в основному базуються на експериментальних даних і виробничому досвіді. На рис. 1 зображена схема комбінованого витягування в двоконусній матриці [4]. Ліворуч від вісі симетрії показаний стан перед витягуванням, праворуч – після витягування. Заготовка 1 встановлюється на матриці з двома конусами 2 (з кутами α і β). Формоутворення виробу без притискача виконується пуансоном 3. Величина зазору між матрицею і пуансоном z дозволяє виконувати потоншення стінки при витягуванні. В роботі [3] наведений інтервал для кута $\alpha = 30\text{--}45^\circ$, який встановлений експериментально. Практично відсутні дані по силових режимах і напружено-деформованому стану заготовки при інших значеннях кута та по використаному ресурсу пластичності zdeформованого металу. Останнє є визначальним для подальшого витягування з потоншенням після комбінованого витягування.

Постановка задачі. Метою роботи є вивчення впливу кута α на силові режими деформування, напружено-деформований стан заготовки та ресурс пластичності zdeформованого

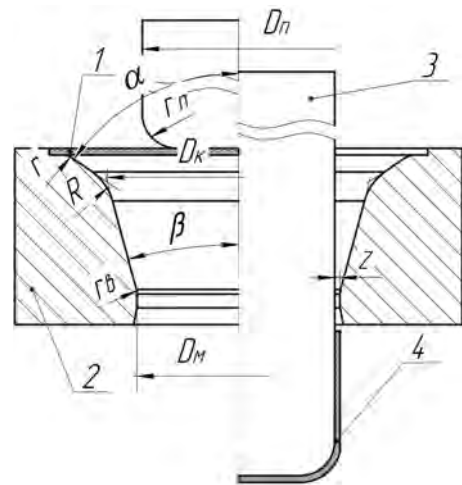


Рис. 1. Схема процесу комбінованого витягування у двоконусній матриці

металу. Вказану задачу можна вирішити шляхом створення математичних моделей з використанням чисельного методу скінченних елементів (МСЕ). МСЕ дозволяє враховувати конструктивні фактори (геометричну форму пуансону і матриці), технологічні фактори (коefficient витягування, величину зазору, тип змащення, швидкість деформування) та фізико-механічні фактори (пружні властивості металу, діаграму істинних напружень і діаграму пластичності металу, що деформується). Комп'ютерне моделювання в програмному середовищі DEFORM дозволяє одночасно врахувати наведені фактори [5]. Однак, створені моделі комбінованого витягування та результати розрахунку необхідно обов'язково перевіряти експериментальними величинами, що дозволить використати дані моделювання для удосконалення існуючих та розробки нових технологій комбінованого витягування.

Результати досліджень. Спочатку було виконане моделювання комбінованого витягування в матриці з одним конусом та проведено порівняння результатів розрахунків з даними експерименту для перевірки адекватності створених моделей з використанням МСЕ. Вихідними даними для моделювання були: діаметр заготовки $D_{\text{заг}} = 100$ мм, товщина заготовки $s_0 = 0,95$ мм, матеріал латунь Л80 з межею міцності $\sigma_B = 370$ МПа та модулем Юнга $E = 1,1 \cdot 10^{-5}$ МПа. Зміцнення матеріалу враховувалось по діаграмі істинних напружень з джерела [6]. Розміри деформуючого інструменту (див. рис. 1): діаметр матриці $D_M = 50$ мм, кут конусу матриці 15° ; діаметри пуансону $D_{\text{п}} = 47,34; 48,02$ та $48,6$ мм брали в залежності від зазору z між ним і матрицею, радіус заокруглення пуансону $r_{\text{п}} = 6$ мм. Діаметр конусу матриці $D_K = 58$ та 66 мм, вхідний радіус матриці $r = 5$ мм та радіус переходу у калібруючий пояс $r_B = 5$ мм.

Порівняння результатів чисельного моделювання та натурального експерименту процесу комбінованого витягування в одноконусній матриці проводили для витягування з наступними відносними зазорами z_B ($z_B = z/s_0$): $z_B = 1,4; 1,05$ та $0,737$. Останній зазор забезпечував деформування з потоншенням стінки. На рис. 2 приведені залежності зусилля витягування від переміщення пуансону, які отримані розрахунком МСЕ для $z_B = 0,737$, та експериментальні залежності з джерела [4]. Характер теоретичних і експериментальних залежностей практично однаковий. Графіки мають два максимуми зусилля. Максимальна розбіжність по максимальним значенням зусилля між теорією і експериментом не перевищує 10 %. На рис. 3 наведені стадії формоутворення виробу в одноконусній матриці, при яких виникають максимуми зусилля. Перший максимум виникає при заповненні конусу матриці (рис. 3, а), другий — при вході торця стінки, який зазнав потовщення в результаті витягування, у калібруючий пояс матриці (рис. 3, б).

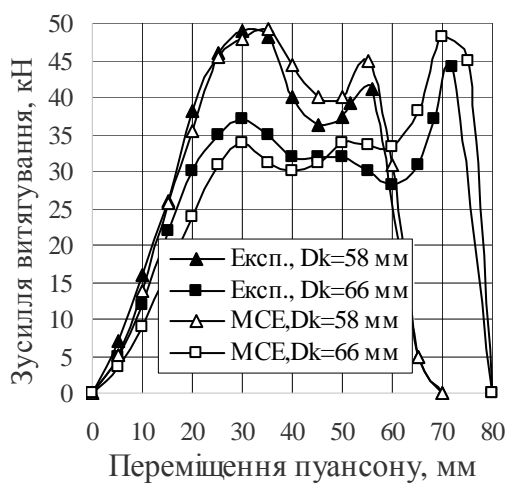


Рис. 2. Залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансону при витягуванні з $z_B = 0,737$

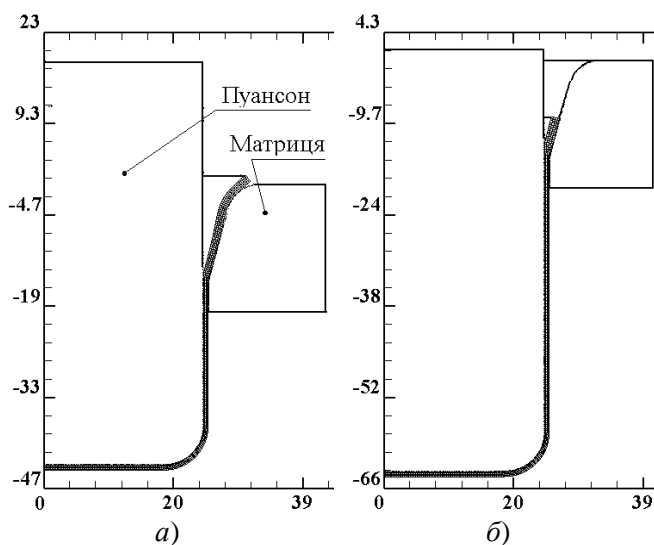


Рис. 3. Стадії формоутворення виробу. Розміри в міліметрах

Порівняння результатів чисельного моделювання та натурального експерименту процесу комбінованого витягування у випадках витягування з відносними зазорами $z_B = 1,4$ (рис. 4, а) і зазору $z_B = 1,05$ (рис. 4, б) також показало достатню збіжність даних, що підтверджує адекватність розроблених математичних моделей процесу комбінованого витягування у конусних матрицях.

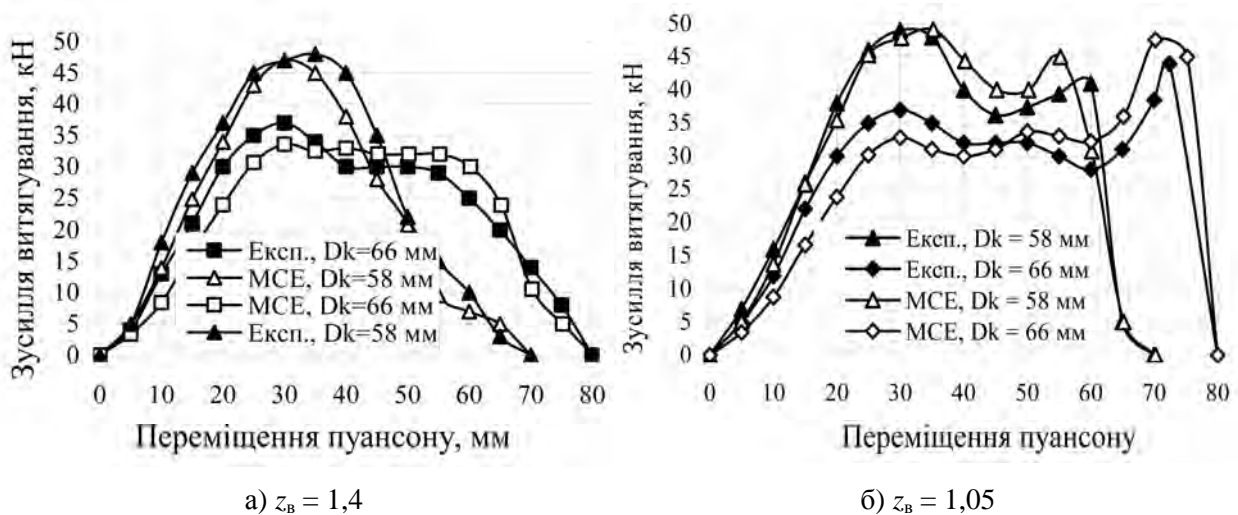


Рис. 4. Залежність зусилля комбінованого витягування від переміщення пуансону

Комбіноване витягування у двоконусних матрицях дозволяє зменшити кількість переходів формоутворення виробу у порівнянні з одноконусною матрицею, що значно здешевлює виробництво, та підвищує точність форми і розміри виробу без застосування додаткових операцій. На початковій стадії такого витягування на формоутворення виробу суттєво впливає кут вхідного конусу α . При моделюванні витягування в двоконусній матриці кут конусу змінювали від $\alpha = 30^\circ$ до $\alpha = 60^\circ$ через 5° . Деформуванню підлягала заготовка діаметром $D_{\text{заг}} = 110$ мм, товщиною $s_0 = 1,7$ мм із сплаву АМцА-М, $\sigma_B = 100$ МПа та $E = 0,71 \cdot 10^5$ МПа. Зміцнення матеріалу враховувалось також по даним джерела [6]. Розміри деформуючого інструменту: діаметр пуансону $D_{\text{п}} = 57$ мм, радіус заокруглення $r_{\text{п}} = 10$ мм; діаметр матриці $D_{\text{м}} = 59$ мм, кут нижнього конусу $\beta = 15^\circ$, радіус вхідного конусу матриці $r = 5$ мм, радіус переходу конусів матриці $R = 15$ мм та радіус переходу у калібруючий пояс $r_B = 5$ мм. Основними технологічними параметрами процесу комбінованого витягування у двоконусній матриці є зусилля витягування і робота деформації, максимальне розтягувальне напруження σ_z в стінці виробу та використаний ресурс пластичності zdeформованого металу. Для прикладу, на рис. 5 приведена типова залежність зусилля витягування від переміщення пуансону при витягуванні з відносним зазором $z_B = 0,59$ і кутом матриці $\alpha = 55^\circ$. Графік має два максимуми зусилля. Це пояснюється тим, що витягування має дві стадії (рис. 6). Деформування по вхідному конусу і повне заповнення другого конусу закінчується при зусиллі 17,6 кН (рис. 6, а). Другий максимум зусилля витягування (43 кН) відповідає закінченню деформування заготовки по другому куту матриці (рис. 6, б).

На рис. 7 приведений розподіл компонент напружень при максимальному зусиллі витягування. Максимальні стискаючі радіальні напруження $\sigma_r = -161$ МПа спостерігаються в осередку деформації, загалом у стінці виробу величини σ_r змінюються від -80 МПа до -8 МПа. Розподіл осьових напружень σ_z зображено на рис. 7, б, величина σ_z у стінці виробу в середньому 64–92 МПа з максимумом 193 МПа у зоні виходу частини виробу із осередку деформації. Значення тангенціальних напружень σ_θ майже постійні по стінці виробу і складають 62–70 МПа, в осередку деформації вказані напруження досягають величини -175 МПа (рис. 7, в). Кінцеві розміри виробу зображені на рис. 8.

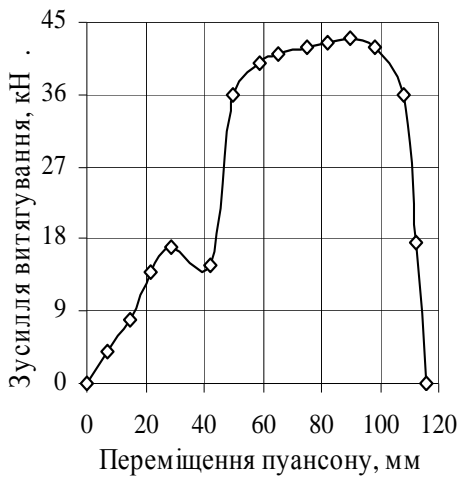


Рис. 5. Залежність зусилля від переміщення пуансону

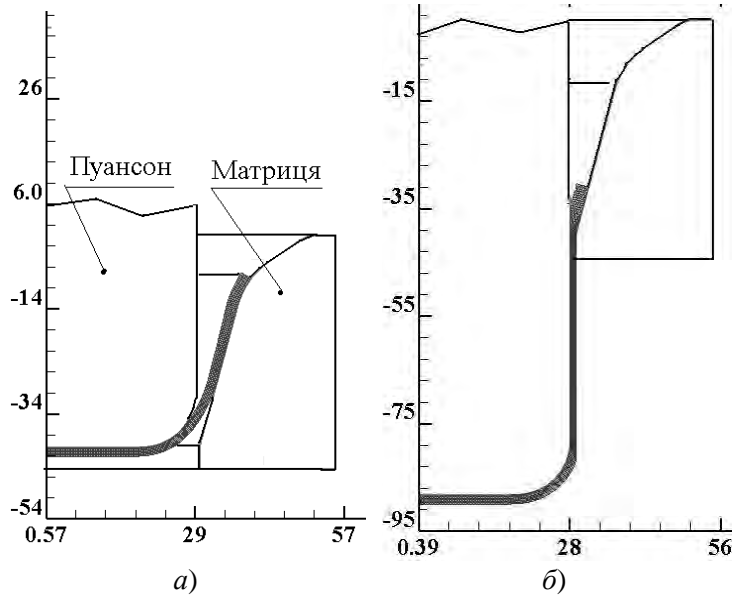


Рис. 6. Стадії формоутворення виробу. Розміри в міліметрах

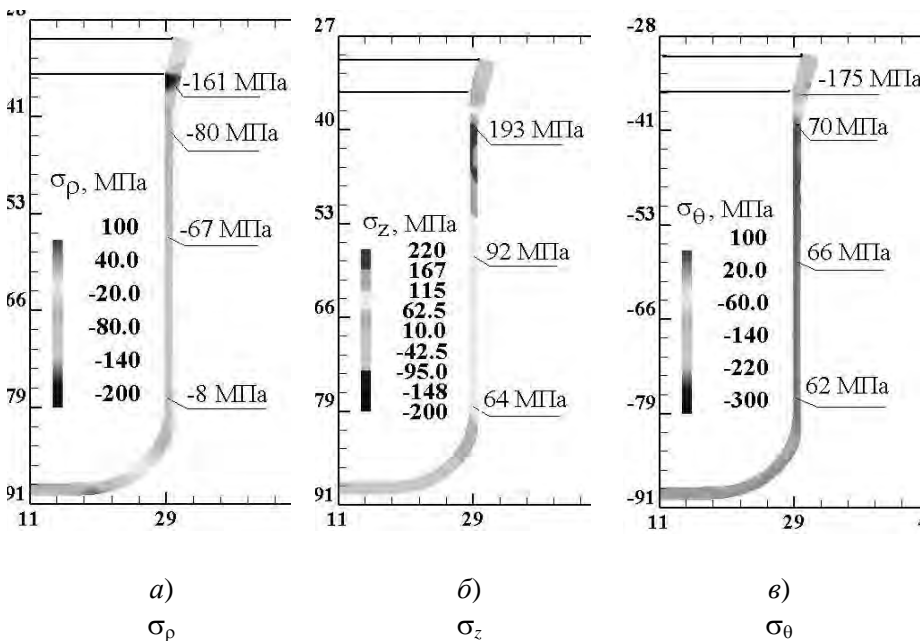


Рис. 7. Розподіл компонент напружень при максимальному зусиллі витягування

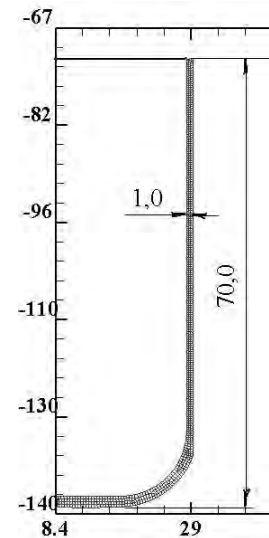


Рис. 8. Кінцеві розміри виробу

Розподіл деформацій та інтенсивності деформацій приведений на рис. 9. В донній частині виробу радіальні деформації ε_r в стінці мають значення від $-0,6$ до $-0,55$ (рис. 9, а). Максимальні осьові деформації $\varepsilon_z = 0,7-1$ мають місце у стінці виробу після виходу із зони деформування та в (рис. 9, б). Значення тангенціальних деформацій ε_θ плавно змінюються від $\varepsilon_\theta = -0,1$ у донній частині до $\varepsilon_\theta = -0,5$ у верхній частині стінки виробу (рис. 9, в). Розподіл інтенсивності деформацій ε_i приведений на рис. 9, г в стінці змінюються від $\varepsilon_i = 0,7$ до максимуму $\varepsilon_i = 1$ в зоні виходу заготовки із зони деформування.

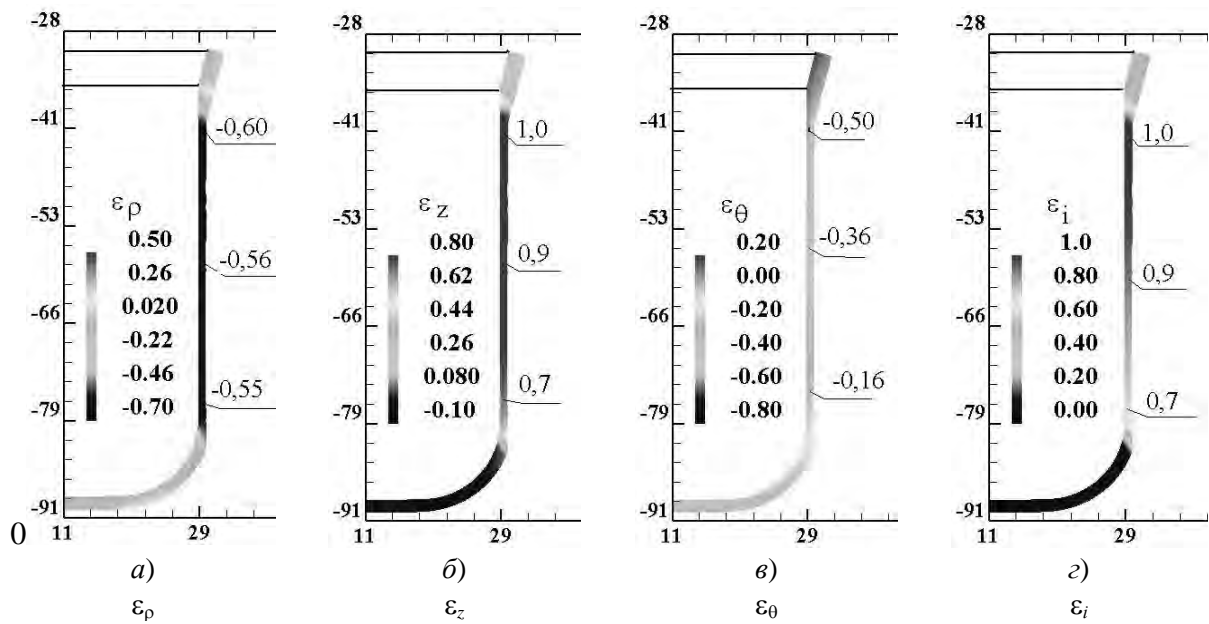


Рис. 9. Розподіл компонент деформацій і інтенсивності деформацій

Узагальнені дані по впливу кута α вхідного конусу матриці на процес комбінованого витягування приведені на рис. 10. На рис. 10, а зображена залежність максимального зусилля витягування від кута α , мінімальне значення зусилля 41 кН спостерігається при кутах 50–55°. Залежність використаного ресурсу пластичності zdeформованого металу в стінці виробу від кута α показує, що при куті 55° цей параметр має величину 0,69 і є найменшим (рис. 10, б), що дозволяє виконувати подальше потоншення стінки і отримання більшої висоти виробу. Залежність максимального осьового напруження, яке виникає в стінці заготовки при витягуванні, від кута α зображена на рис. 10, в. Найменше значення 218 МПа отримане при куті 55°.

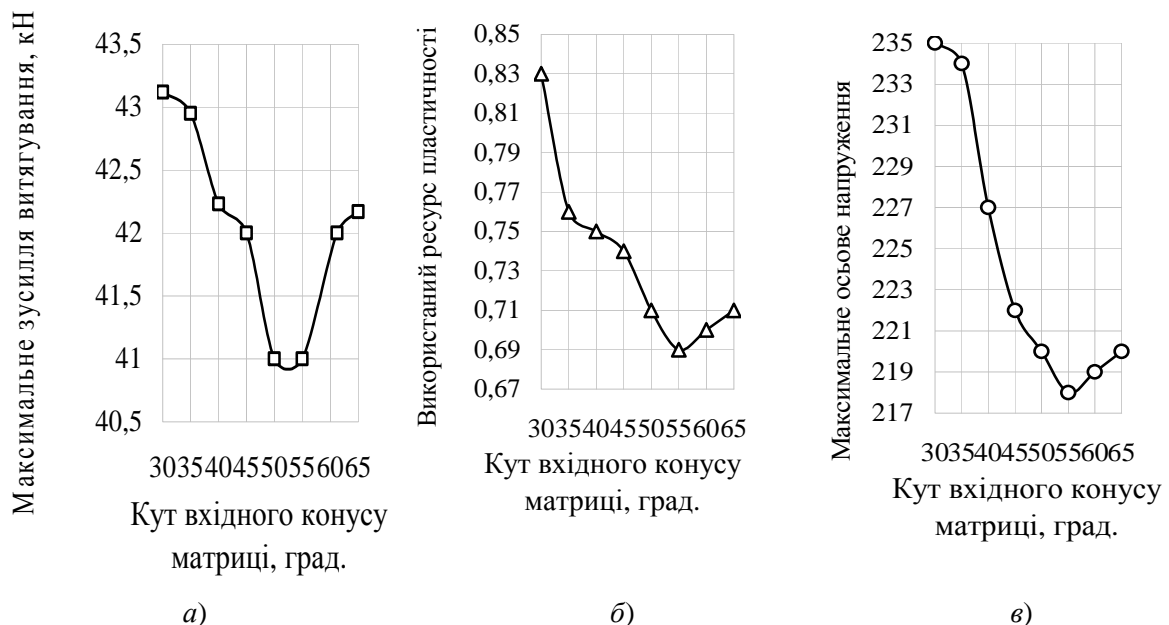


Рис. 10. Узагальнені дані по впливу кута вхідного конусу матриці на процес комбінованого витягування

Висновки

1. Методом скінченних елементів розроблені математичні моделі процесу комбінованого витягування у одноконусних і двохконусних матрицях. Для витягування в одно-

конусних матрицях проведена перевірка адекватності шляхом порівняння розрахункових та відомих експериментальних даних.

2. За допомогою комп'ютерного моделювання досліджений вплив кута входного конуса матриці на силові режими формоутворення виробів, роботу деформації, напружено-деформований стан заготовок та ресурс пластичності здеформованого металу. Встановлено оптимальний кут, який забезпечує мінімальне зусилля деформування, розтягувальні напруження та ресурс пластичності в стінці заготовки. Отримані дані можуть бути використані для проектування штампного оснащення та вибору пресового обладнання.

Література

1. Романовский, В.П. *Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовский.* – 6-е изд., пераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
2. *Ковка и штамповка: справ.: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка [Текст] / 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 [Текст] / Ю.А. Аверкиев.* – Ростов: Изд-во Ростовского ун-та, 1984. – 288 с.
4. Валиев, С.А. *Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов [Текст] / С.А. Валиев.* – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
5. Калюжний, О.В. *Виготовлення складових деталей виробу «балон» з заданими механічними властивостями здеформованого металу [Текст] / О.В. Калюжний, В.В. Піманов / Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – № 2 (23) – Краматорск, 2010. – С. 117–121.*
6. Третьяков, А.В. *Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением [Текст] / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин.* – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.

© В.Л. Калюжний, А.С. Запорожченко

В.Л. Калюжний, д.т.н., проф., А.С. Запорожченко, асп.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ВХОДНОГО КОНУСА ДВУХКОНУСНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЫТЯЖКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Методом конечных элементов проведено моделирование процессов комбинированной вытяжки в конусных и двухконусных матрицах. Проведено сравнение результатов расчетов вытяжки в конусных матрицах по силовым режимам с известными данными. Исследовано влияние угла входного конуса двухконусной вытяжной матрицы на усилие вытяжки, напряженно-деформированное состояние заготовки и ресурс пластичности сформированного металла. Определено оптимальное значение угла для получения изделий с разной толщиной стенки и донной части.

Ключевые слова: комбинированная вытяжка, метод конечных элементов, угол конуса матрицы, усилие вытяжки, напряженно-деформированное состояние заготовки.

V.L. Kalyuzhniy, Doctor of Technical Sciences, Professor, A.S. Zaporozhchenko, Post-graduate

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

THE DETERMINATION OF THE OPTIMAL ANGLE OF THE INLET CONE OF THE DOUBLE-CONE DIE FOR THE COMBINED DRAWING PROCESS OF THE AXIALLY SYMMETRIC PRODUCTS

The simulation of the combined drawing process in the cone and double-cone dies was performed by means of the finite element method. For the comparison of results of simulation and experimental data of the combined drawing process were used the power modes of the process. The impact of the angle of the inlet cone of the double-cone die on the drawing process

force, the stress-strain state of the workpiece and the damage of the blank metal were researched. The optimal angle of the inlet cone of the double-cone die for the combined drawing process was defined for the production of the different thick wall and bottom part products.

Key words: the combined drawing process, the finite element method, the angle of the inlet cone of the double-cone die, the drawing process force, the stress-strain state of the workpiece.

УДК 621.961; 621.983; 621.774

О.В. Калюжний, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ХОЛОДНЕ ШТАМПУВАННЯ ВИРОБУ З ДВОМА ФЛАНЦЯМИ ІЗ ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАЦІЙ ВИТЯГУВАННЯ, РОЗДАЧІ І ОСАДЖУВАННЯ

Розроблена технологія для серійного виготовлення виробу із листової заготовки з використанням операцій витягування, роздачі і осаджування. Методом скінченних елементів встановлені силові режими і робота деформації вирубування вихідної заготовки і по переходах формоутворення. При розрахунках розмірів напівфабрикатів враховані накопичені деформації і напруження, ресурс пластичності металу після деформації. Визначені розміри матриці, які забезпечують витягування за один перехід взамін традиційних двох. Процеси штампування можуть бути реалізовані на кривошипному обладнанні зусиллям 160 і 400 кН.

Ключові слова: холодне листове штампування, метод скінченних елементів, вирубування, витягування, роздача, осаджування фланця.

Вступ. Холодне штампування листових заготовок дозволяє виготовляти вироби з підвищеною продуктивністю і коефіцієнтом використання металу, зниженими енерговитратами. В теперішній час область промислового використання технології холодного штампування постійно розширюється в напрямку ускладнення геометричної форми виробів, скорочення кількості переходів штампування, зниження собівартості виробів, що збільшує конкурентоспроможність вказаної технології. При виготовленні деталі із низьковуглецевої сталі, ескіз якої показаний на рис. 1, можна використовувати трубчасту заготовку з наступними переходами роздачі і осаджування фланців. Однак, це приведе до великої собівартості деталі. Тому раціональним є використання формоутворення вказаного виробу з використанням операцій холодного листового штампування. Традиційно порожнисті вироби з фланцем і дном отримують витягуванням, що можна використати для отримання трубчастої заготовки з фланцем подальшим пробиванням дна. По даним джерел [1–3] традиційним витягуванням і комбінованим витягуванням [4] отримати показаний на рисунку напівфабрикат з фланцем за один перехід не можливо. Крім того в джерелах [1–3] практично відсутні дані по використаному ресурсу пластичності металу після витягування за два переходи, тому неможливо провести подальші розрахунки переходів роздачі і осаджування. Використати витягування з радіальним підпором фланця заготовки для серійного виробництва дозволить отримати напівфабрикат з фланцем циліндричної форми за один перехід, однак не забезпечить необхідну продуктивність для серійного виробництва [5]. Для скорочення кількості переходів при витягу-

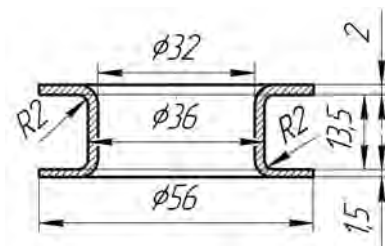


Рис. 1. Ескіз деталі