

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ГНУТТЯ ЗАГОТОВКИ І ПОДАЛЬШОГО ВИТЯГУВАННЯ

*Предложена технология изготовления детали „седло” методом холодного вытягивания с предварительно профилированных заготовок с последующими пробивкой отверстия и отбортовкой. Методом конечных элементов проведено математическое моделирование холодной вытяжки с предварительно профилированной листовой заготовки из стали 08кп, определены силовые параметры процесса, конечные размеры изделия, напряженно-деформированное состояние заготовки. Спроектирована штамповая оснастка для реализации процесса в производстве.*

*The technology for manufacturing of detail “saddle” by cold drawing from previously shaped sheet blanks with subsequent hole punching and flanging is proposed. The mathematical modeling of cold drawing from previously shaped sheet blank made from steel 08 is carried out by finite element method. Load parameters of process, final dimensions of detail, mode of deformation of deformed blank were determined. Die tooling for the realization of process in production was developed.*

**Вступ.** В теперішній час ресурсозберігаючі процеси холодного листового штампування знаходять широке застосування у будівельній галузі, зокрема для виготовлення різноманітних деталей з'єднання тонкостінних труб різного діаметра у системах вентиляції. Це деталі типу „муфта”, „втулка”, „перехідник”, „сідло” та інші. Найбільш складною деталлю з точки зору виготовлення є виріб типу «сідло» для з'єднання тонкостінних оцинкованих труб однакових та різних діаметрів (рис.1). В Україні деталі такого типу виготовляють формовкою двох половин із оцинкованих листових заготовок та з'єднують їх фальцевим швом. Виготовлення деталей за такою технологією досить складне і займає багато часу. Тому необхідно розглянути можливість виготовлення цільної заготовки з використанням операцій холодного листового штампування, зокрема гнуттям, витягуванням, пробиванням отвору в витягнутій частині та подальшим відбортуванням для отримання максимальної висоти деталі. Вказані переходи штампування можливо виконати в окремих штампах. Однак найбільш продуктивним методом виготовлення є виконання формоутворення виробу „сідло” операціями гнуття, витягування, пробивання отвору і відбортування за один хід преси в штампі сумісної дії. Для цього необхідні великої вартості преси подвійної дії. В роботі розглянута можливість отримання вказаних деталей на універсальному гідравлічному пресі, який має виштовхувач.

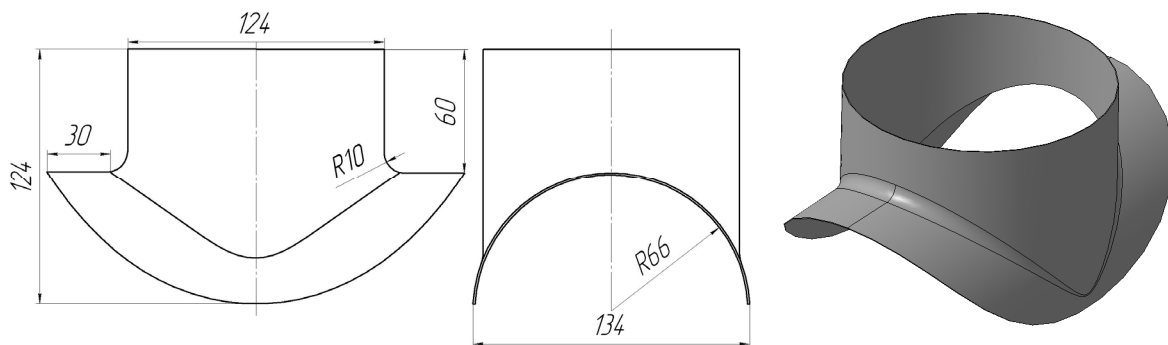


Рис. 1. Деталь «сідло»

Визначення параметрів гнуття і відбортування листової заготовки не визивають складнощів. Самою складною операцією є витягування з попередньо зігнутої з відповідним радіусом вихідної круглої листової заготовки. В літературі [1-2] практично відсутні дані по визначенню конструктивних і технологічних параметрів витягування.

**Мета роботи.** Метою роботи є визначення параметрів витягування з листової заготовки, яка попередньо зігнута з відповідним радіусом. Вирішення такої задачі вимагає чіткого прогнозування властивостей листового матеріалу після попереднього профілювання перед наступним витягуванням, дослідження впливу попереднього профілювання на закономірність формозміни листового матеріалу під час подальшого витягування.

**Постановка задачі.** Для врахування конструктивних (геометрія пуансона, матриці, притискача), технологічних (геометрична форма заготовки, коефіцієнт витягування, швидкість деформування, тип змащення) і фізико-механічних (пружні властивості, діаграма істинних напружень, діаграма пластичності металу заготовки)

параметрів було запропоновано створення скінченно-елементної моделі формоутворення виробу гнуттям і подальшим витягуванням.

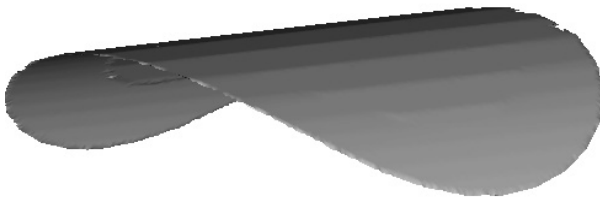


Рис. 2. Заготовка після гнуття

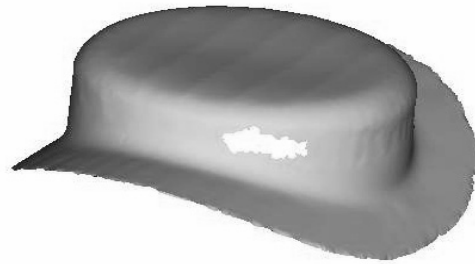


Рис. 3. Руйнування заготовки при витягуванні

Матеріал листової заготовки із сталі 08кп товщиною 0,7 міліметрів (мм) і діаметром 240 мм, який був визначений розрахунковим шляхом з умови постійності площ виробу і заготовки. Використовували пружно-пластичну модель для металу, що деформується. Модуль Юнга  $2,1 \cdot 10^5$  МПа, коефіцієнт Пуассона 0,3. Діаграму істинних напружень апроксимували залежністю  $\sigma_s = \sigma_{0,2} + k \cdot \varepsilon^n$  (тут  $\sigma_{0,2} = 210$  МПа – умовна межа текучості,  $\varepsilon$  – ступінь деформації,  $k$  і  $n$  - коефіцієнти, які визначали по експериментальній діаграмі істинних напружень [3]).

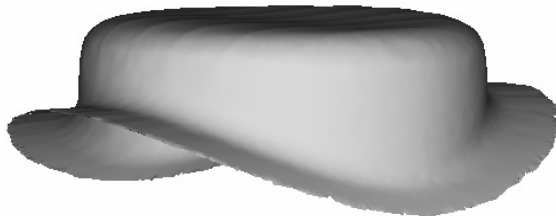


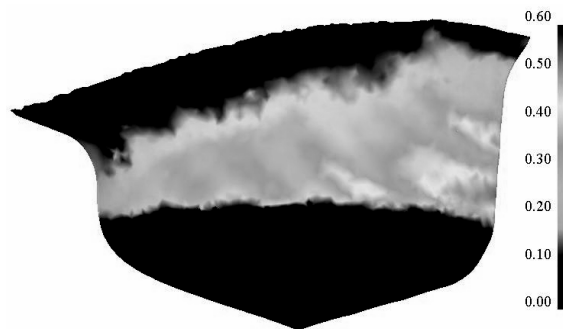
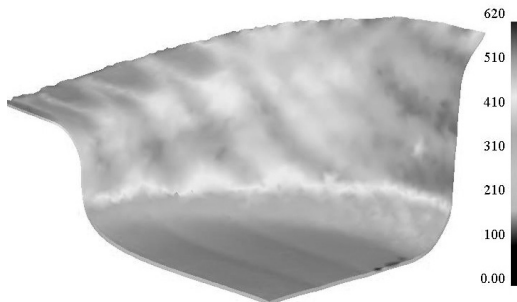
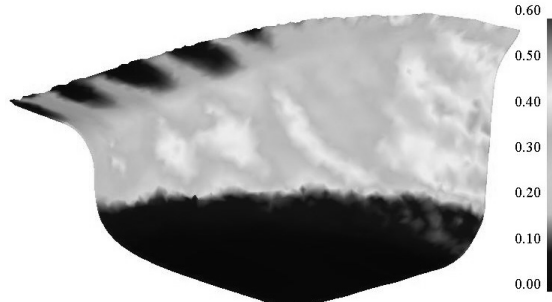
Рис. 4. Заготовка після витягування

Враховане тертя на контактуючих поверхнях по закону Кулона (коефіцієнт тертя  $\mu=0,08$ ). Швидкість деформування складала 2 мм/с. Процеси гнуття і подальше витягування розподіляли на певну кількість кроків навантаження (величина переміщення пуансона на одному кроці складала 0,5 міліметрів), що дозволяє визначити початок руйнування при формоутворенні. Моделювання проводили з використанням програмного комплексу Defom 3D по тимчасовій ліцензії, яка надана компанією „ТЕСИС”.

**Результати моделювання.** Кінцева геометрія заготовки після гнуття по радіусу 66 мм (див. рис. 1) зображена на рис. 2. Далі проводили моделювання процесу витягування з урахуванням технологічної спадковості після гнуття до початку руйнування заготовки. На рис. 3 зображена заготовка на початку руйнування при витягуванні. Руйнування починається в області стінки між більшим і меншим фланцем.



Рис. 5. Залежність зусилля витягування від переміщення пуансона

Рис.6 Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності  $I$ Рис. 7. Розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$ Рис. 8. Розподіл інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$

Без руйнування заготовка витягується на глибину 18 мм і 62 мм відповідно по стінці зі сторони більшого і меншого фланців (рис. 4).

Розрахункова залежність зусилля гнуття та подальшого витягування від переміщення пуансона показана на рис. 5. Максимальне значення зусилля гнуття склало –10,6 кН, витягування - 67 кН.

Для представлення результатів розрахунків в силу симетрії заготовки, розглянуто четверту частину після витягування. Проаналізований розподіл ступеня використання ресурсу пластичності  $\psi$  (на початку руйнування  $\psi = 1,0$ ) в заготовці після витягування (рис. 6): в донній частині і по фланцю  $\psi = 0,05-0,10$ , на радіусі переходу стінки в донну частину  $\psi = 0,12$ . В циліндричній частині заготовки  $\psi = 0,2-0,25$  зі сторони більшого фланця та  $\psi = 0,6$  зі сторони меншого. На радіусі переходу циліндричної частини у фланець  $\psi = 0,14-0,24$ , в самому фланці  $\psi = 0,12$ . Найбільше використання ступеня використання ресурсу пластичності спостерігається в циліндричній частині біля меншого фланця витягнутої деталі.

Розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$  зображений на рис. 7. В донній частині деталі інтенсивність напружень в межах 150-290 МПа, на радіусі переходу дна в циліндричну стінку  $\sigma_i = 340$  МПа, в циліндричній частині  $\sigma_i$  змінюється від 450 МПа зі сторони більшого фланця до  $\sigma_i = 560$  МПа зі сторони меншого, на радіусі переходу циліндричної частини у фланець  $\sigma_i$  досягає максимальної величини 510 МПа зі сторони меншого фланця. У більшому фланці  $\sigma_i = 360-460$  МПа, у меншому  $\sigma_i = 470-530$  МПа. Найбільша інтенсивність напружень спостерігається в циліндричній частині витягнутої деталі і досягає величини 560 МПа. Метал зміцнюється в 3 рази в порівнянні з вихідним станом.

Розподіл інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  зображено на рис. 8. В донній частині витягнутої заготовки інтенсивність деформацій складає 0,008-0,013, на радіусі переходу донної частини в стінку  $\varepsilon_i = 0,06-0,1$ , в циліндричній частині  $\varepsilon_i$  від 0,26-0,45 зі сторони більшого фланця до 0,38-0,51 зі сторони меншого фланця, на радіусі переходу стінки у фланець  $\varepsilon_i = 0,23-0,46$ , в більшому фланці  $\varepsilon_i = 0,08-0,29$  і у меншому  $\varepsilon_i = 0,32-0,40$ . Причому у більшому фланці  $\varepsilon_i$  розподілена нерівномірно, що може бути причиною складкоутворення при витягуванні. Максимальна величина інтенсивності деформацій складає 0,62 і спостерігається в циліндричній частині витягнутої деталі зі сторони меншого фланця.

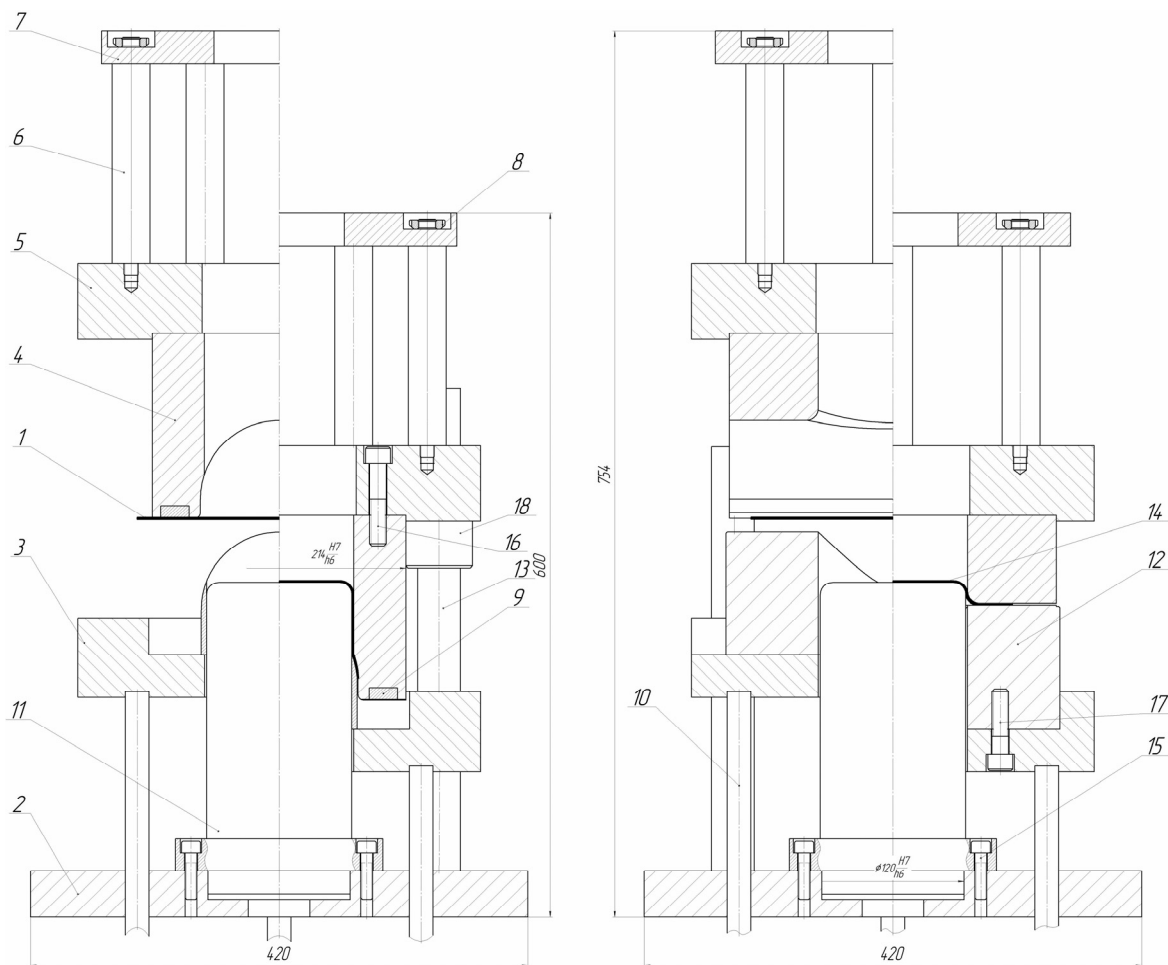


Рис. 9. Штамп сумісної дії для гнуття заготовки і подальшого витягування

Таким чином, розрахунковим аналізом встановлена можливість витягування циліндричним пуансоном попередньо спрофільованих гнущих заготовок. Однак витягування не забезпечує необхідну висоту деталі „сідло” згідно креслення. Тому необхідна операція відбортування донної частини заготовки після витягування для отримання кінцевого розміру висоти деталі.

З урахуванням отриманих даних моделюванням технологія виготовлення деталі „сідло” повинна включати наступні операції: вирубка циліндричної заготовки з листа; гнуща заготовка по відповідному радіусу; витягування; пробивання отвору в донній частині під відбортування; відбортування.

Для реалізації гнуща та витягування в штампі сумісної дії на гідравлічному пресі необхідно спочатку виконати операцію гнуща і створити притискання фланця зігнутої заготовки при подальшому витягуванні. В якості притискача можливе використання виштовхувача преса.

Для гнуща циліндричних листових заготовок і подальшого витягування була розроблена і спроектована конструкція штампового оснащення, яка зображена на рис. 9.

Наведені вихідний стан (ліворуч від вісі) та після витягування. Праворуч від вісі показаний розріз посередині меншого фланця (рис. 9а) та посередині більшого фланця (рис. 9б). До верхньої плити 7 закріплюється проміжна плита 5 за допомогою шести шпильок 6 і гайок 8. Матриця для гнуща і витягування 4 прикріплюється до проміжної плити шістьма гвинтами 16. Плита- притискач 3, на якій зафіксований пуансон для гнуща 12 за допомогою шести гвинтів 17, встановлена на чотирьох штовхачах 10, що проходять через нижню плиту 2, стіл пресу та спираються на виштовхувач пресу. На нижній плиті встановлений і закріплений гвинтами 15 пуансон для витягування 11.

Направлення проміжної плити 5, плити-притискача 3 відносно нижньої плити 2 відбувається двома колонками 13 і втулками 18. Заготовка 1 центрується у пазі матриці 4 та фіксується за допомогою магнітів 9.

При русі вниз верхньої плити 5 спочатку відбувається гнуща заготовки пуансоном 12 в матриці 4 (плита- притискач стоїть на місці). При подальшому русі верхньої плити 7 починає зміщуватися вниз плита-притискач 3 (притискання фланця заготовки забезпечується виштовхувачем пресу) і виконується процес витягування зігнутої заготовки пуансоном 15 до отримання готового виробу 14.

### Висновки

1. Запропонована технологія виготовлення цільних заготовок деталі „сідло” для з’єднання тонкостінних труд однакових та різних діаметрів в системах вентиляції операціями холодного листового штампування.
2. Створена скінченно-елементна модель операцій гнуща і подальшого витягування циліндричним пуансоном з урахуванням технологічної спадковості металу після гнуща.
3. Проведено моделювання процесів гнуща і подальшого витягування. Визначені максимальні розміри заготовок після витягування, які можливо отримати без руйнування. Встановлені зусилля витягування, напружено-деформований стан заготовок.
4. На основі результатів розрахункового аналізу розроблена і спроектована конструкція штампового оснащення сумісної дії для виконання гнуща круглих листових заготовок і подальшого витягування циліндричним пуансоном. Штамп встановлюється на гідравлічний прес, в якому для створення притискання фланця заготовки при витягуванні використовується виштовхувач пресу.

### Список літератури

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке . – 6-е изд., перераб. и доп.// В.П. Романовский.; Л: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
2. Аверкиев Ю.А.. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая штамповка // А. Ю. Аверкиев, Ю.А. Аверкиев, Е.А. Белов и др. Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др.; М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.
3. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации.// В.А. Кроха; М.: Машиностроение, 1980. – 158 с.