

УДК 621.7

О.В. Калюжний к.т.н., ст. викл., В.В. Піманов, асп., І.М. Савчук, студ.
НТУ України „Київський політехнічний інститут”

РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ХОЛОДНОГО ЗВОРОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ КОНІЧНИХ ПОРОЖНИН

Методом конечных элементов проведено моделирование процесса холодного обратного выдавливания конических полостей в заготовках из малоуглеродистой стали. Определена конечная геометрия изделия. Установлены силовой режим процесса, распределение удельных усилий на пуансоне, матрице, выталкивателе. Рассчитано упрочнение металла по всему объему изделия. По данным расчета разработана технология холодного выдавливания и спроектирована конструкция штампа.

Mathematical simulation of the inverted extrusion of the conical hollow in the low-carbon steel stock piece with using the finite element method is carried out. The final geometry of a product is defined. Distribution of load per unit surface on the punch, on the die and on the ejector is defined. Strain hardening of the metal throughout the volume of a product is calculated. According to calculation the inverted extrusion production method is developed and designed the die set.

Вступ. В теперішній час на Україні в металообробці широке розповсюдження знаходять високопродуктивні, ресурсозберігаючі процеси холодного об'ємного штампування та гарячого об'ємного штампування взамін обробки різанням при виготовленні деталей. Суттєвою перевагою холодного об'ємного штампування є можливість завдяки зміцненню металу при холодній формозміні заміни марки матеріалу виробів на більш дешеву без зміни службових властивостей виробів. Велику кількість деталей, які виготовляють холодним зворотним видавлюванням, складають порожнисті вироби з порожниною постійного діаметра та ступінчатою порожниною. Розробка технології холодного видавлювання порожнистих виробів з порожниною постійного діаметра в основному зводиться до визначення силових режимів або питомих зусиль на деформуючому інструменті [1 - 3]. У вказаних джерелах відсутні дані для визначення параметрів холодного видавлювання конічних порожнин в циліндричних заготовках. Тому технології отримання таких деталей розробляються на базі виробничого досвіду та експериментальних досліджень, що потребує багато часу для підготовки виробництва, великих трудовитрат і витрат металу для виготовлення і доопрацювання штампного оснащення.

Для удосконалення існуючих та розробки нових технологій холодного об'ємного штампування зараз широко використовують чисельні експерименти шляхом моделювання методом скінчених елементів за допомогою універсальних комерційних пакетів прикладних програм (ANSYS, LS-DYNA, FastForm, DynaForm, NASTRAN, COSMOS, ABAQUS, DEFORM). Однак розрахункові дані, які отримані з використанням вказаних програм, потребують детального аналізу висококваліфікованими фахівцями в області холодного деформування, щоб прийняти рішення для використання даних на практиці.

На кафедрі МПМ та РП НТУУ „КПІ” створена спеціалізована інформаційна технологія для визначення параметрів отримання виробів процесами холодного об'ємного та листового штампування на основі моделювання процесів методом скінчених елементів. Параметри, які визначені розрахунковим шляхом, не потребують доопрацювання експериментальними роботами [4 - 7].

Мета роботи. Метою роботи є визначення розрахунковим шляхом параметрів холодного видавлювання конічних порожнин в циліндричних заготовках з мало вуглецевої сталі та розробка технології і штампного оснащення для реалізації процесу на виробництві.

Креслення деталі, яку необхідно отримати холодним видавлюванням, показане на рис. 1. Вказана деталь є заготовкою для виготовлення бурильної головки. В теперішній час такі деталі виготовляють обробкою різанням з високовуглецевих сталей з коефіцієнтом використання металу 60 % на одну деталь. Завдяки зміцненню при холодній формозміні металу буде виявлена можливість заміни марки металу на більш дешеву без зміни службових властивостей виробу. Холодне видавлювання заготовок з малоуглецевих сталей взамін високовуглецевих виконується при суттєво менших зусиллях і питомих зусиллях, що забезпечує використання пресового обладнання меншого зусилля та підвищену стійкість деформуючого інструменту.

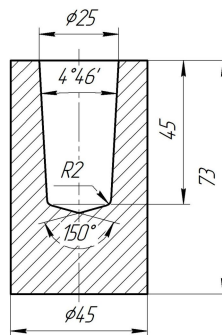


Рис. 1. Креслення деталі

Розрахункова схема для моделювання представлена на рис. 2. Задача вісесиметрична, розглядаємо половину схеми видавлювання. Заготовка з мало вуглецевої сталі з умовною межею течії $\sigma_{0,2} = 260$ МПа діаметром 45 мм і висотою 60 мм

встановлена на виштовхувач 4 в матриці 3. На верхній торець заготовки 1 встановлений пуансон 2, геометрична форма якого відповідає розмірам порожнини деталі (див. рис. 1). Пуансон 2, матриця 3 і виштовхувач 4 вважалися абсолютно жорсткими. Процес моделювання розподіляли на певну кількість кроків навантаження. Навантаження прикладали в вигляді крокового переміщення пуансона 2 в зворотному напрямку вісі $y(z)$ до отримання кінцевої геометрії виробу. Враховували тертя на контактуючих поверхнях. Коефіцієнт тертя 0,08, що відповідає змащенню фосфатування з омилюванням. Діаграму істинних напружень мало вуглецевої сталі апроксимували ступеневою залежністю, діаграму пластичності – формулою Г.Д. Деля, ступінь використання ресурсу пластичності здеформованого металу розраховували по критерію В.А. Огороднікова. При моделюванні визначали пружно-пластичний напружено-деформований стан металу способом початкових напружень по мірі вдавлювання пуансона в заготовку.

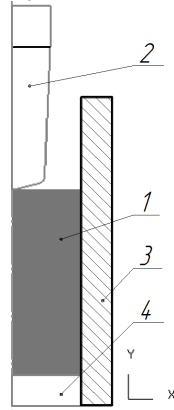


Рис. 2. Розрахункова схема для моделювання

Розрахункова залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона представлена на рис. 3. Зусилля постійно зростає по мірі вдавлювання пуансона в заготовку і досягає максимального значення 1,22 МН в кінці процесу видавлювання. Встановлений напружено-деформований стан металу по всьому об'єму заготовки дозволив виявити точний розподіл нормальних напружень на деформуючому інструменті.

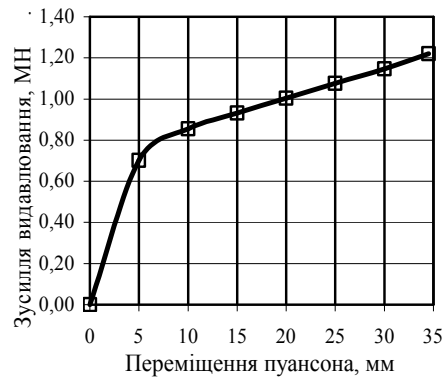


Рис. 3. Графік залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона

На рис. 4 показаний розподіл осьових напружень σ_z по радіусу торця пуансона. На конічній поверхні торця вказані напруження досягають значення 2500 МПа.

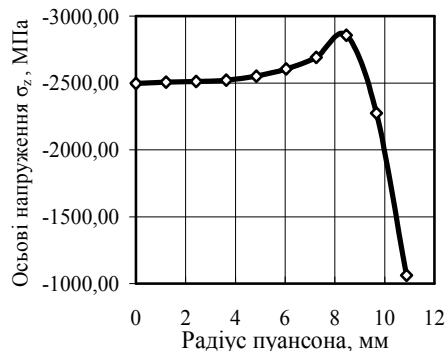


Рис. 4. Розподіл осьових напружень σ_z на торці пуансона

Розподіл осьових напружень σ_z по радіусу виштовхувача представлений на рис. 5. Максимальне значення 1170 МПа отримане на вісі виштовхувача. Далі напруження зменшуються до величини 860 МПа на краю

виштовхувача. По максимальним значенням вказаних напружень необхідно вибрати марку матеріалу для пуансона і виштовхувача.

Для вибору кількості бандажів матриці для видавлювання на рис. 6 побудований розподіл радіальних напружень на поверхні заготовки, яка контактує з матрицею. Максимальне значення 1060 МПа вказані напруження досягають в осередку деформації під пуансоном.



Рис. 5. Розподіл осевих напружень σ_z на виштовхувачі

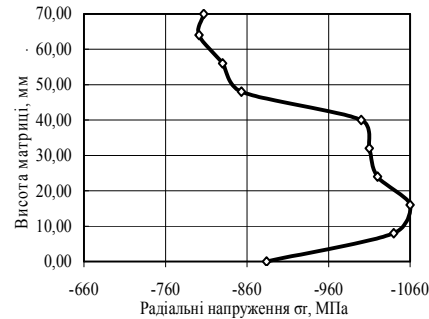


Рис. 6. Розподіл напружень σ_r на поверхні матриці

На рис. 7 наведена кінцева геометрична форма zdeформованої заготовки та розподіл інтенсивності напружень по її об'єму.

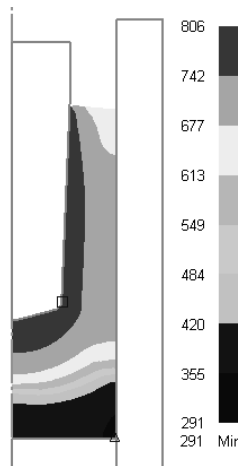


Рис. 7. Розподіл інтенсивності напружень по об'єму заготовки

На відміну від видавлювання порожнини циліндричним пуансоном, коли на торці стінки виробу утворюється утяжина, в даному випадку зі сторони порожнини має місце виступ, який зменшується до зовнішньої поверхні виробу. По розподілу інтенсивності напружень σ_i можливо прогнозувати механічні властивості zdeформованого металу. Так внутрішні шари металу стінки виробу, які мають $\sigma_i = 806$ МПа зміцнюються в $\sigma_i / \sigma_{0,2} = 806 / 260 = 3,1$ рази в порівнянні з вихідним станом металу. Зовнішні шари в $742 / 260 = 2,85$ рази. Структура металу донної частини виробу пропрацьовується пластичною деформацією наступним чином: торець донної частини зміцнюється в 1,6 рази, середина дна – в 2,6 рази, під пуансоном – в 3,1 рази. Звідки можливо зробити висновок про заміну високовуглецеву сталь на мало вуглецеву без зміни службових властивостей виробу.

Таким чином, розрахунковим шляхом визначені всі параметри для виготовлення заготовок бурильної головки шляхом холодного видавлювання: зусилля деформування – для вибору пресового обладнання, розподіл питомих зусиль на пуансоні і виштовхувачі – для призначення марки сталі для їх виготовлення, розподіл питомих зусиль на матриці – для вибору кількості бандажів матриці.

З урахуванням операції холодного видавлювання запропонована маловідхідна послідовність виготовлення заготовок бурильних головок. Вихідні заготовки довжиною 60 мм необхідно отримувати безвідхідним неповністю закритим різанням зсувом в штампі сортового прокату звичайної точності діаметром 45 мм. Після цього відрізані заготовки підлягають калібруванню в штампі, яке забезпечує отримання необхідного розміру по діаметру, паралельність торців та перпендикулярність їх вісі заготовки. Далі виконується операція відпалу по традиційному режимі, очистка заготовок від окалини шляхом галтування в барабанах. Потім виконується очищення поверхні знежиренням і травленням та нанесення змащення фосфатування з омилюванням. Після цього можливе холодне зворотне видавлювання. Запропонована технологія забезпечує можливість заміни марки сталі на більш дешеву, скорочення часу виготовлення і підвищення коефіцієнта використання металу на одну деталь з 60 до 85 %.

Також по результатах розрахунків був спроектований штамп для операції зворотного видавлювання. Креслення загального вигляду штампа показано на рис. 8. Використана схема направлення пуансона по матриці з виштовхуванням готової деталі виштовхувачем преса.

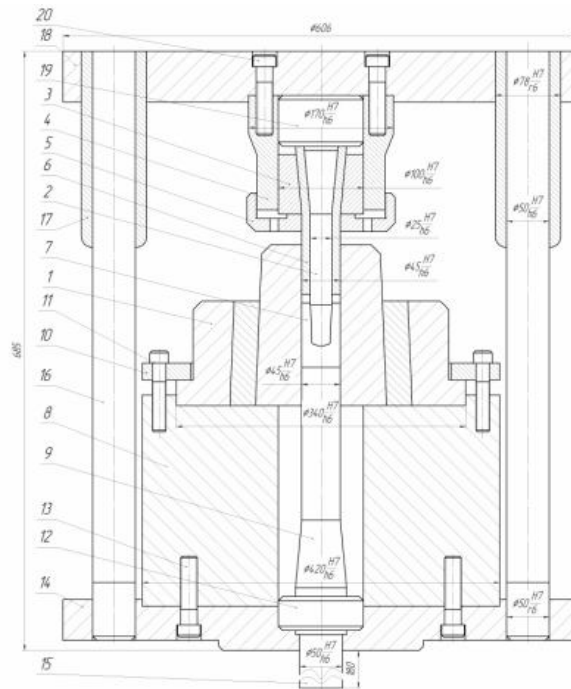


Рис. 8. Креслення загального вигляду штампа для зворотного видавлювання

Штамп складається з бандажованої матриці 1, яка встановлюється в обоймі 8 і закріплюється кільцем 10 за допомогою болтів 11. Внутрішня втулка матриці виконана більших розмірів чим висота бандажів для направлення пуансона 2 за допомогою втулки 6 по матриці перед видавлюванням. В отворі матриці 1 розміщений виштовхувач 9. На нижній плиті встановлений штовхач 15 і опорна плита 12. Обойма 8 з матрицею 1 і виштовхувачем 9 розміщені на нижній плиті 14 і фіксується болтами 13. До верхньої плити штампу 18 кріпиться болтами 20 пуансонотримач 4. В пуансонотримач встановлена опорна плита 19, на яку спирається пуансон 2 з направляючою втулкою 6 і притискається за допомогою кільця 3 і гайки 5. Вихідна заготовка встановлюється в матриці 1 на виштовхувач 9 і при опусканні верхньої плити 18 пуансон 2 із втулкою 6 спочатку направляється по матриці 1, а потім виконується зворотне видавлювання. Виштовхування готового виробу з матриці після видавлювання виконується виштовхувачем пресу, який піднімає вгору штовхач 15, опорну плиту 12 і виштовхувач штампу 9. Штамп встановлюється на гідравлічний прес для пресування пластмас марки ДБ2432 зусиллям 1,6 МН.

Висновки

1. Методом скінчених елементів проведений аналіз можливості холодного видавлювання заготовок з конічною порожниною з циліндричних заготовок з мало вуглецевої сталі. Холодне видавлювання запропоноване замість обробки різанням для виготовлення заготовок бурильних головок.

2. Визначена кінцева геометрична форма виробу, встановлене зусилля видавлювання, точний розподіл питомих зусиль на пуансоні, виштовхувачі і матриці. Виявлене зміцнення здеформованого металу, яке дозволило замінити марку сталі виробу без зміни службових властивостей його.

3. На основі результатів розрахунків запропонована маловідхідна технологія отримання заготовок бурильних головок високопродуктивним, ресурсозберігаючим процесом холодного видавлювання, яка дозволяє скоротити час виготовлення і підвищити коефіцієнт використання металу.

4. Спроектований штамп для реалізації холодного зворотного видавлювання на практиці.

Список літератури

1. Холодная объемная штамповка. Справочник. Под ред. Г.А. Навроцкого. М.: Машиностроение, 1973, - 496 с.
2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т.; т. 3. Холодная объемная штамповка/ Под ред. Г.А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1987. -384 с.
3. Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др.; Под ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.
4. Калюжний В.Л. Расчетный анализ холодного выдавливания стаканов конусным пуансоном методом конечных элементов. // В кн. «Удосконалення процесів та обладнання обробки металів тиском в металургії та машинобудуванні?».-Краматорськ-Славянськ.-2000. –С. 200-203.
5. Калюжний В.Л. Расчетно-экспериментальный анализ силовых режимов и качества деталей при холодном прессовании деталей из стали 45 с разной степенью деформации. // Вісник двигунобудування.- 2004.-№1.-С. 139-144.
6. В.І. Стеблюк, В.Л. Калюжний, О.В. Калюжний. Математичне моделювання процесу витягування з профільованої заготовки. //Вестник НТУУ КПИ. Машиностроение, вып.45.–Київ.–2004. –С. 30-33.
7. Стеблюк В.І., Калюжний В.Л., Калюжний О.В. Математичне моделювання попереднього профілювання заготовок для витяжки виробів спеціального призначення. //Технологические системы, №3(14). –Киев.– 2002. –С. 50-53.