

АНАЛІЗ СИЛОВИХ РЕЖИМІВ ТА ЯКОСТІ ВИРОБІВ ПРИ ОБЖИМІ ТРУБЧАТИХ ЗАГОТОВОК В КОНУСНІЙ МАТРИЦІ

Методом конечных элементов выполнен анализ обжима трубных заготовок из малоуглеродистой стали. Определено влияние геометрии матрицы на силовые режимы деформирования и предельный коэффициент обжима. Установлена конечная геометрия изделия, напряженно-деформированное состояние и упрочнение металла после деформации. По данным расчета спроектирован универсальный штамп для реализации процесса в производстве.

The analysis of drafting of tubular blanks made of low-carbon steel was carried out by finite element method. The influence of die's geometry on the load modes of deformation and on maximum draft ratio were determined. The final geometry of detail, mode of deformation and metal strengthening after deformation were determined. Die block for process realization on production was designed according to analysis data.

Вступ. Обтиск трубчатих або порожнистих заготовок з дном широко розповсюджена формоутворююча операція листового штампування. В результаті обтиску частина заготовки приймає форму зрізаного конусу, конуса і циліндра, сфери, сфери і циліндра. Процес обтиску реалізують на кривошипних і гідравлічних пресах. При проектуванні технології обтиску в основному використовують дані з джерел [1-2]. Це стосується визначення основного показника - граничного коефіцієнта обтиску k_0 (відношення діаметра заготовки по середині стінок вихідної заготовки до діаметра торця обтиснутої заготовки також по середині стінок), висоти заготовки для обтиску та наближений розрахунок зусилля і потовщення торця заготовки при обтиску. Практично відсутні рекомендації по визначенню зміцнення здеформованого металу, знаходження точної кінцевої геометричної форми виробів, що визначає якість деталей після обтиску. Також відсутні дані по розподілу питомих зусиль на деформуючому інструменті.

Постановка задачі. Метою даної роботи є визначення розрахунковим шляхом з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) впливу кута конусу матриці, тертя на контактуючих поверхнях на коефіцієнт обтиску силові режими, роботу деформації, питомі зусилля на деформуючому інструменті та якість виробів.

Результати досліджень. Розрахунковий аналіз виконували з використанням спеціалізованого пакету прикладних програм, який розроблений при участі автора на кафедрі МПМ та РП НТУУ „КПІ” для моделювання процесів холодного листового і об'ємного штампування з метою визначення параметрів для удосконалення існуючих та розробки нових технологій і штампового оснащення.

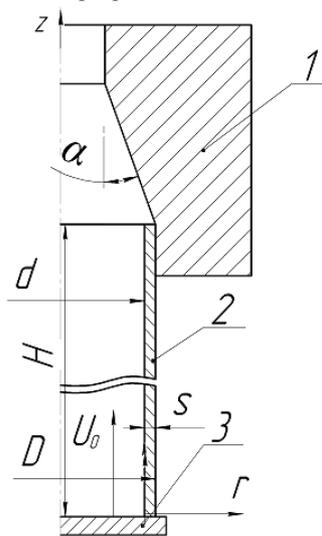


Рис. 1. Розрахункова схема обтиску

На рис. 1 показана розрахункова схема обтиску, по якій проводили моделювання. В силу симетрії показано половину заготовки. Трубчатая заготовка 2 з зовнішнім діаметром $D=120$ міліметрів (мм), внутрішнім $d=117$ мм та висотою $H=200$ мм встановлена на опорі 3 і підлягає обтиску в нерухомій матриці 1, в якій деформуюча поверхня виконана у вигляді конуса з кутом α . Величину кута брали $\alpha = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40$ і 45 градусів. Швидкість деформування складала 2 мм/с. Процес обтиску розподіляли на певну кількість кроків навантаження, яке задавали у вигляді крокового переміщення $U_0=0,005$ мм плити 3. Вказане переміщення давало можливість прослідити за втратою стійкості стінки заготовки та за ступенем використання ресурсу пластичності здеформованого металу з метою визначення можливості руйнування металу при формоутворенні. Матеріал заготовки із маловуглецевої сталі, яка має умовну межу текучості $\sigma_{0,2}=180$ МПа, вважався ізотропним пружно-пластичним. Були враховані конструктивні параметри процесу, тертя на контактуючій поверхні (коефіцієнт тертя $0,05$), пружні властивості, діаграма істинних напружень та діаграма руйнування вказаної сталі відповідно для визначення зміцнення та ступеня використання ресурсу пластичності здеформованого металу. Моделювання проводили до тих пір, поки в сітці заготовки починали виникати пластичні деформації і вона втрачала стійкість.

В результаті розрахунків отримані залежності зусилля обтиску від переміщення плити, кінцева геометрія виробів, напружено-деформований стан по об'єму здеформованої заготовки та ступінь використання ресурсу пластичності. Зміцнення здеформованого металу визначали по коефіцієнту зміцнення $k=\sigma_s / \sigma_{0,2}$ (відношення напруження текучості здеформованого металу σ_s до умовної межі

текучості вихідної заготовки $\sigma_{0,2}$). Вказаний коефіцієнт показує в скільки разів метал зміцнюється в порівнянні з вихідним станом.

На рис. 2 приведені залежності зусилля обтиску від переміщення плити. При малих кутах матриці ($\alpha=5-15^\circ$) зусилля спочатку зростає повільно і суттєво збільшується на кінцевій стадії обтиску. Максимальне значення зусилля формоутворення в кінчній матриці має місце в кінці обтиску (101,8 кН).

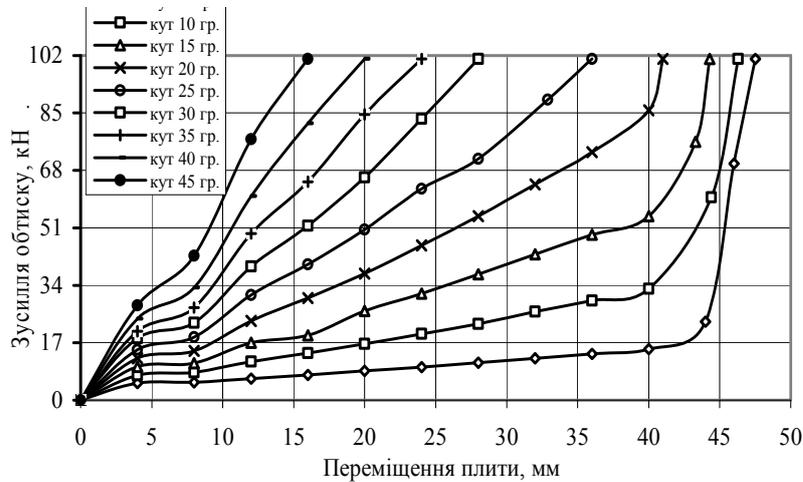


Рис. 2. Залежність зусилля обтиску від переміщення пуансону

Розрахункова кінцева геометрична форма виробів після обтиску дозволила розрахувати коефіцієнт обтиску k_0 , залежність якого від кута α представлена на рис. 3. Кут матриці $\alpha=25^\circ$ забезпечує отримання максимального значення коефіцієнта k_0 .

Коефіцієнт тертя впливає на величину коефіцієнта обтиску k_0 . На рис. 4 приведена залежність зусилля обтиску від переміщення плити при різних значеннях коефіцієнта тертя на контактуючій поверхні між матрицею і заготовкою при куті матриці $\alpha=15^\circ$. Коефіцієнт тертя мало впливає на зусилля на початкових стадіях обтиску. Збільшення коефіцієнта тертя приводить до зменшення коефіцієнта обтиску. Так при коефіцієнті тертя 0,12 обтиск закінчується при переміщенні плити 36 мм (стінка заготовки втрачає стійкість), а при $\mu=0,05$ процес формоутворення виробу закінчується при переміщенні плити 48 мм.

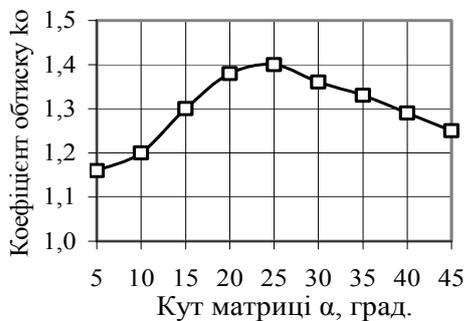


Рис. 3. Залежність коефіцієнта обтиску від кута конусу матриці

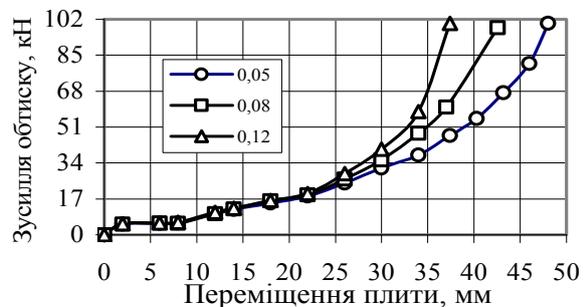
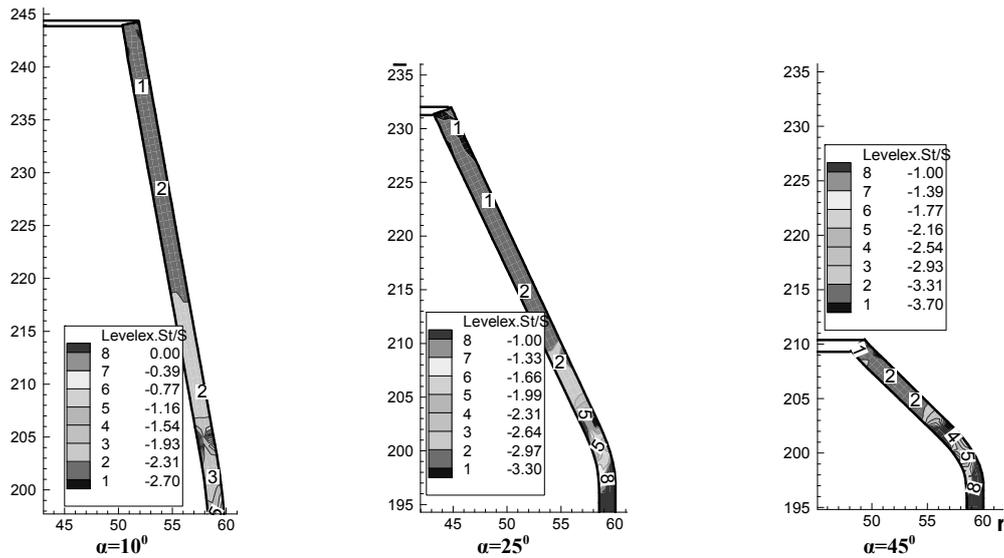


Рис. 4. Вплив коефіцієнта тертя на зусилля обтиску

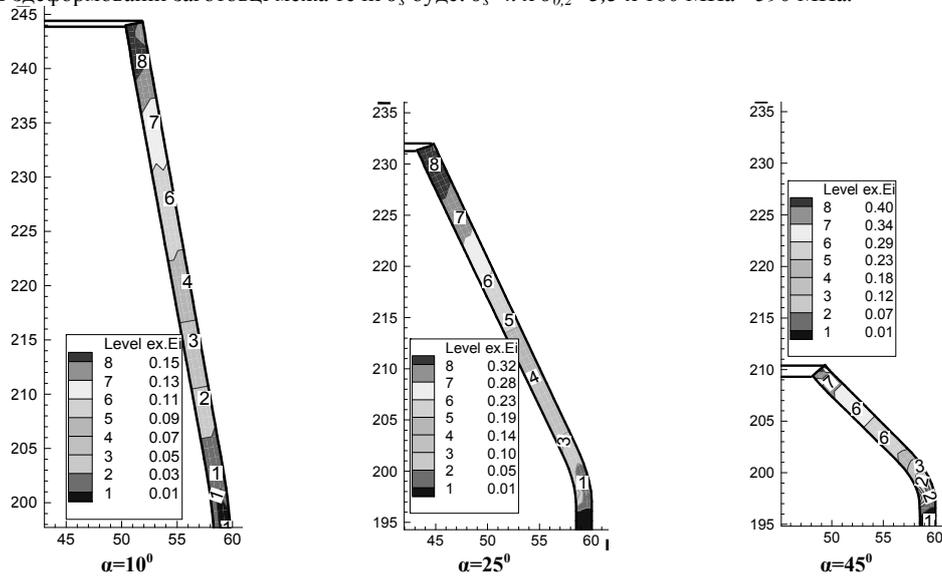
Встановлений напружено-деформований стан по всьому об'єму заготовки. На формоутворення виробів в процесах обтиску в основному впливають тангенційні стискаючі напруження σ_θ , які не тільки приводять до втрати стійкості стінок заготовки, а також до виникнення складкоутворення в zdeформованій частині заготовки. Як показали розрахунки, величини вказаних напружень суттєво залежать від кута конусу матриці. Компоненти напружень представлені в відносних величинах – як відношення напруження до умовної межі текучості металу вихідної заготовки. Це дає можливість розповсюдити отримані результати для обтиску заготовок з інших марок сталей.

На рис. 5 наведені розподіли відносних тангенційних напружень ($\sigma_\theta/\sigma_{0,2}$) в обтиснутій області заготовки в матрицях з $\alpha=10^\circ$, 25° і 45° . Розподіл нерівномірний по висоті zdeформованої заготовки, причому зростання кута приводить до збільшення нерівномірності. Найбільші по абсолютній величині вказані відносні напруження виникають в верхній частині з поступовим зменшенням до нижньої частини zdeформованої заготовки. Збільшення кута конусу матриці приводить до зростання відносних напружень $\sigma_\theta/\sigma_{0,2}$. При куті $\alpha=10^\circ$ величина $\sigma_\theta/\sigma_{0,2} = -2,7$ або складає $-2,7 \times 180 \text{ МПа} = -486 \text{ МПа}$; при $\alpha=25^\circ$ $-3,3 \times 180 \text{ МПа} = -594 \text{ МПа}$; при $\alpha=45^\circ$ $-3,7 \times 180 \text{ МПа} = -666 \text{ МПа}$. На радіусі переходу обтиснутої частини в стінку величини $\sigma_\theta/\sigma_{0,2}$ практично однакові для всіх розглянутих кутів конусу матриці.

Рис. 5. Розподіл відносних тангенціальних напружень $\sigma_0/\sigma_{0,2}$ в деформованій заготовці (розміри в міліметрах)

Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією в деформованій заготовці також нерівномірне по довжині обтиснутої частини. На рис. 6 показаний розподіл інтенсивності деформацій ε_i в обтиснутих частинах заготовки в матрицях з кутами конусу $\alpha=10^\circ$, 25° і 45° . Малі кути матриці (до 20°) забезпечують отримання в верхній частині обтиснутої заготовки значення $\varepsilon_i=0,15\div 0,25$. Збільшення кута приводить до зростання інтенсивності деформацій від $\varepsilon_i=0,3$ до $\varepsilon_i=0,4$.

Моделюванням встановлений коефіцієнт зміцнення металу в деформованій заготовці та товщина стінки. По довжині деформованої заготовки зміцнення змінюється аналогічно розподілу інтенсивності деформацій. В таблиці приведені максимальна товщина стінки заготовки (Scm) в міліметрах (в вихідному стані товщина стінки була 1,5 мм), а також коефіцієнти зміцнення $k=\sigma_s/\sigma_{0,2}$ в верхній, середній та нижній частинах деформованої заготовки після обтиску в матриці з різними кутами α . Із збільшенням кута конусу матриці зростає товщина стінки на торці виробу і зменшується різниця в величинах коефіцієнту зміцнення верхньої і нижньої частини деформованої заготовки. По коефіцієнту зміцнення можна прогнозувати механічні властивості деформованого металу. Так при куті $\alpha=45^\circ$ в деформованій заготовці межа течії σ_s буде: $\sigma_s=k \times \sigma_{0,2}=3,3 \times 180 \text{ МПа}=590 \text{ МПа}$.

Рис. 6. Розподіл інтенсивності деформацій ε_i в обтиснутій частині заготовки

Таблиця

Максимальна товщина стінки Scm та коефіцієнт зміцнення k										
Кут конусу α в градусах	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Scm , мм	1,54	1,62	1,67	1,7	1,76	1,8	1,85	1,9	1,93	
k	верх	2,2	2,59	2,9	3,17	3,2	3,24	3,27	3,3	3,35
	середина	1,9	2,2	2,72	2,72	2,8	2,93	3,06	3,3	3,31
	низ	1,5	2	2,25	2,4	2,7	2,8	2,9	3,12	3,29

По результатах розрахункового аналізу був спроектований штамп для обтиску. На рис. 7 показана конструкція універсального штамп для обтиску трубчатих заготовок в конічній матриці на кривошипному пресі. Праворуч від осі симетрії показане положення до обтиску, ліворуч - після обтиску. На нижній плиті 11 встановлена по посадці змінна опора 2 та закріплена гвинтами 12 для розміщення вихідної заготовки необхідного діаметра. На верхній плиті 10 встановлений по посадці і закріплений гвинтами 14 пуансонотримач 5. В пуансонотримачі 5 розміщена змінна матриця 1 для обтиску з конічним кільцем 4, які прижимаються до опорної плити 7 за допомогою гайки 3, що накручується на пуансонотримач. Направлення плит штампу здійснюється за допомогою колонок 7 і втулок 8. Вихідна заготовка розміщується в опорі 2. При опусканні верхньої плити вниз за допомогою матриці 4 виконується процес обтиску.

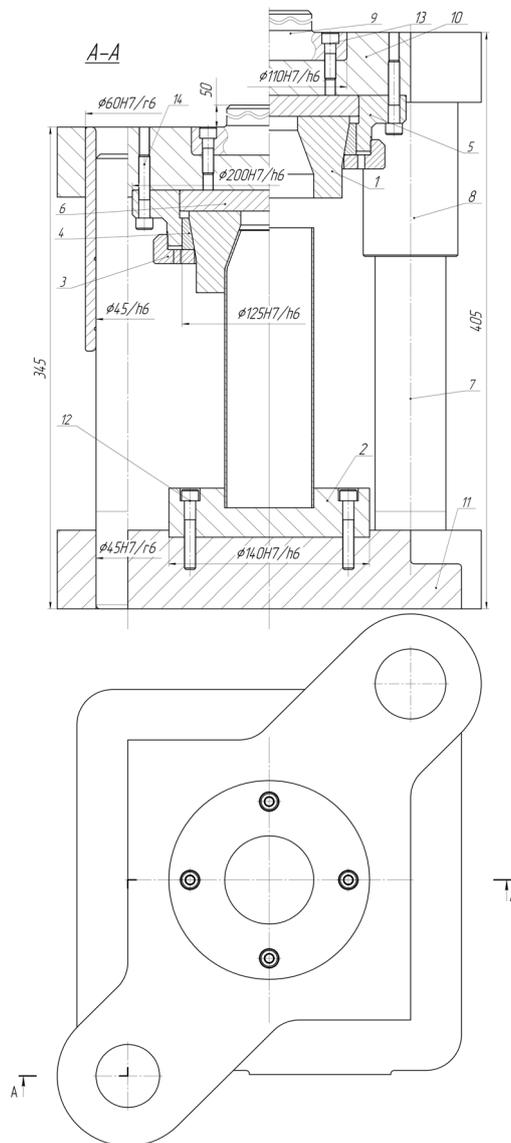


Рис. 7. Універсальний штамп для обтиску трубчатих заготовок

Висновки.

Методом скінченних елементів проведений розрахунковий аналіз процесу обтиску в конусній матриці з різними кутами конусу трубчатих заготовок, які вільно стоять на опорі. Встановлені силові режими обтиску, визначений граничний коефіцієнт обтиску. Отримана кінцева геометрична форма виробу з розподілом напружень і деформацій. Виявлене потовщення стінки після обтиску та зміцнення zdeформованого металу. Спроекований універсальний штамп для обтиску.

Список літератури

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л: Машиностроение. Ленингр. отделение, 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.