

## РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОВКИ

### 4.1 Процес протяжки

Визначення режимів деформації при протяжці на пресах виконується в даний час на основі досвіду заводських технологів і носить, як правило, наближений характер. Існуючі методики розрахунку процесів кування засновані або на інженерних моделях, які не дозволяють розрахувати напружено-деформований стан кожної точки вогнища деформації з комплексним обліком тривимірного перебігу металу, форми інструменту, властивостей, реологій металу і умов тертя, на контакті, або на експериментальних методах, які надзвичайно трудомісткі [10, 19]. Розглянемо застосування розроблених методів до завдання протяжки заготовки у вирізних бойках.

Форма інструменту в даному випадку спрощено характеризується двома площинами, нахиленими під однаковими кутами і обмеженими вширшки бойок (рис. 4.1).

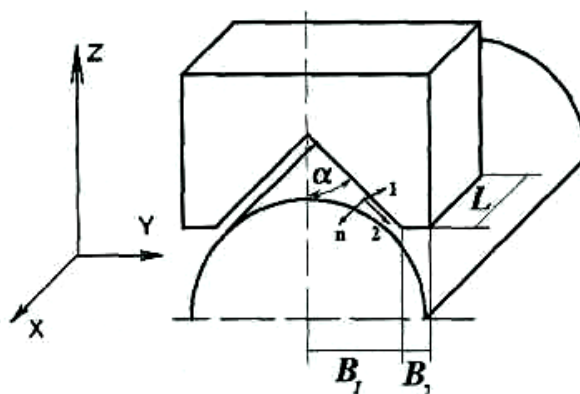


Рисунок 4.1 – Схема до моделювання протяжки у вирізних бойках

Локальні осі координат 1 і 2 направимо дотично до поверхні інструменту уздовж осі поковки (1) і перпендикулярно цієї осі.

Залежно від того, на яку ділянку інструменту виходить вузол, значення направляючих косинусів розраховуються по формулах:

– для ділянки  $B_2$ :

$$w_1 = 0; w_2 = 0; wn = w_{tool};$$

$$ax = 0; ay = 0; az = 1;$$

$$a_{x1} = 1; a_{x2} = 0; a_{y1} = 0; a_{y2} = 1$$

де  $w$  – швидкості руху інструменту в напрямках 1, 2;

$n$ ;  $ax$ ,  $ay$ ,  $az$  – косинуси нормалі, напрямних  $n$ , до поверхні інструменту;

$ax1$ ,  $ax2$ ,  $ay1$ ,  $ay2$  – що направляють косинуси між осями локальною і глобальною системами координат;

$w_{tool}$  – швидкість опускання бойок;

– для ділянки  $B_1$ :

$$w_1 = 0; w_2 = w_{tool} \cos(D); wn = w_{tool} \sin(D);$$

$$ax = 0; ay = \cos(D); az = \sin(D);$$

$$a_{x1} = 1; a_{x2} = 0; a_{y1} = 0; a_{y2} = \cos(1/2-D).$$

Розглянемо протяжку злитка діаметром 1000 мм і завдовжки 1500 мм з неіржавіючої сталі 12X18H9T. Температура деформації 1200°C. Властивості, реологій, задані за даними роботи [20]. Величина чинника тертя прийнята 0,8 і відповідає грубо шорстким бойкам. Завдання розв'язувалося з використанням умов симетрії заготовки щодо площин XOZ і XOY. Початкова звичайно-елементна сітка, що згенерувала модулем підготовки даних складається з 175 вузлів і 96 елементів. Розглянемо початковий етап протяжки. Кути вирізу бойков приймалися наступні – 105°, 135° і 180° (плоскі бойки). Відносна подача приймалася 0,46 і у всіх прикладах залишалася постійною. Розглянуті результати на двох етапах деформації – при робочому ході бойок 100 мм і 280 мм. На рисунку 4.2 показана деформована сітка елементів для цих етапів деформації при вугіллі вирізу бойків 135°.

Розглянемо зміну середньої гідростатичної напруги по довжині поковки уздовж її центральної осі OX і уздовж бічної кромки вогнища деформації. З рисунку 4.3, а видно, що із зменшенням кута вирізу істотно зростає середня гідростатична напруга. Цей факт загальновідомий, проте отримання

чисельних величин напруг з урахуванням перерахованих вище чинників представляє істотний інтерес при виборі бойків для конкретної технології.

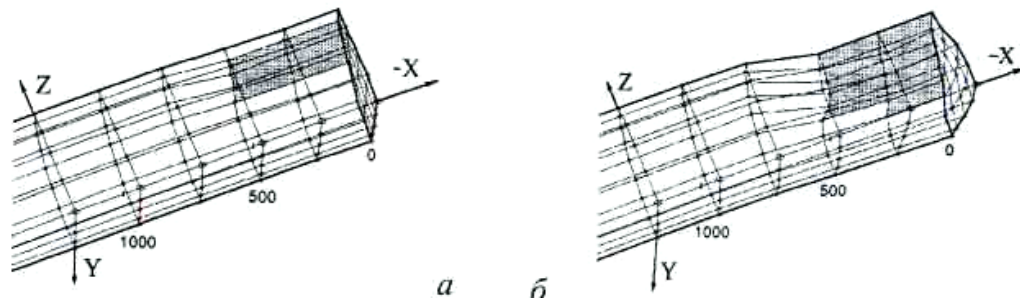


Рисунок 4.2 - Деформована сітка кінцевих елементів на різних етапах деформації при протяжці в бойках з кутом вирізу 1350: а – робочий хід бойок 100 мм; б – 280 мм

При малих обтисках, коли деформація локалізується у контактній поверхні, усередині металу з'являються розтягуючі напруги  $-x$  і  $-y$  і величина середньої гідростатичної напруги ставала позитивною, не перевищуючи, проте в даних розрахунках 1 – 2 МПа.

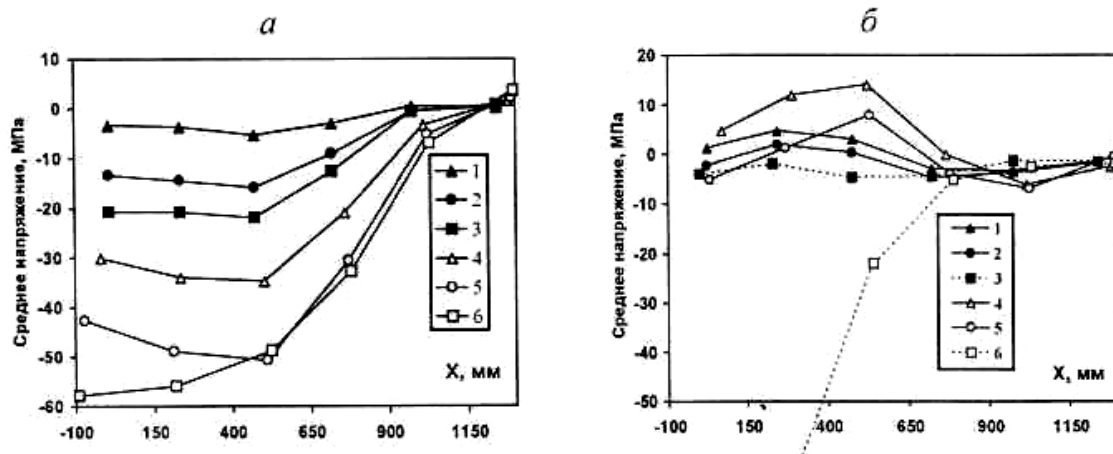


Рисунок 4.3 – Зміна середньої гідростатичної напруги в поковці уздовж осі X при початковому етапі протяжки: а - по центру поковки; б - по бічній кромці поковки (1, 2, 3 – робочий хід верхнього бойок 100 мм; 4, 5, 6 - 280 мм; 1, 4 - плоскі бойки; 2,5 - вирізні з кутом вирізу 1350; 3, 6 - вирізні з кутом вирізу 1050)

На бічній поверхні поковки при збільшенні обтискання можуть переважати напруги, що розтягують (рис. 4.3, б). Це особливо сильно виявляється при куванні в плоских бойках (криві 1 і 4) і у меншій мірі – у вирізних бойках з кутом вирізу 1350 (останнє тільки при значному обтисканні, крива 5). Величина виникаючих напруг і допустимий рівень напруг розтягування визначаються властивостями, реологій, і ресурсом пластичності даного матеріалу.

Розглянемо зміну середньої гідростатичної напруги по висоті поковки при  $X = 450$  мм і  $Y = 0$  мм (рис. 4.4, а). При малих деформаціях в плоских бойках стискаючі напруги переважають у контактній поверхні, істотно зменшуючись до центру поковки (крива 1). Із збільшенням деформації напруги по перетину вирівнюються (крива 4).

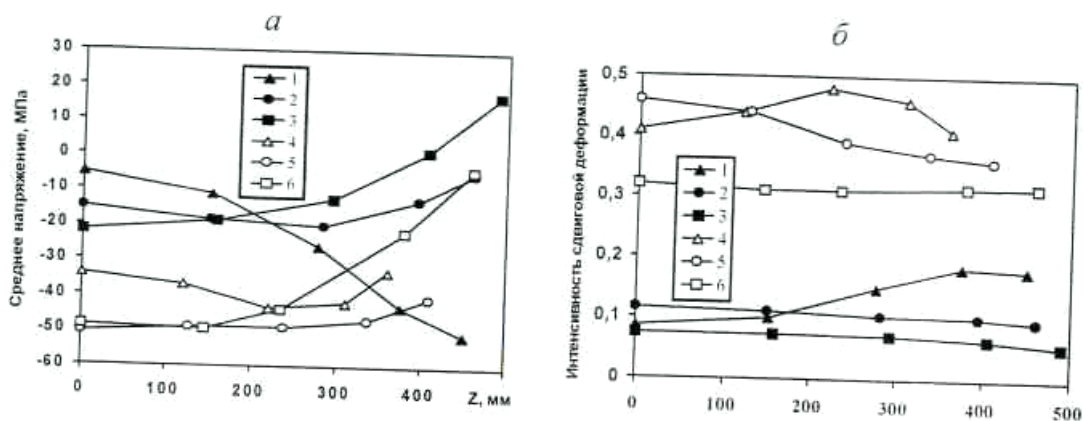


Рисунок 4.4 – Результати моделювання напружено-деформованого стану металу при куванні у вирізних бойках: а – зміна середньої гідростатичної напруги по висоті заготівки (1, 2, 3 – робочий хід верхнього бойок 100 мм, 4, 5, 6 – 280 мм; 1,4 – плоскі бойки; 2, 5 – вирізні з кутом вирізу 1350; 3, 6 – вирізні з кутом вирізу 1050); би – зміна інтенсивності деформації здвигу по висоті поковки (1, 2, 3 – робочого ходу верхнього бойок 100 мм; 4, 5, 6 – 280 мм; 1, 4 – плоскі бойки; 2, 5 – вирізні з кутом вирізу 1350, 3, 6 – вирізні з кутом вирізу 1050)

При використанні бойків з кутом вирізу 1350 напруги розподіляються практично рівномірно при будь-якому обтисканні, а при деформації в бойках з

кутом вирізу 1050 в об'ємах металу, розташованих жвавому, в районі вершини вирізу бойок виникають значні напруги розтягування (крива 3). Ці шари металу не взаємодіють з жвавому безпосередньо, але розтягуються за рахунок механізму перетікання металу на контактну поверхню, що збільшує площу поверхні металу (будучи спочатку циліндровою, вона при деформації приймає форму бойків).

У технологічних процесах кування істотне значення має опрацювання внутрішніх об'ємів металу. Зміна інтенсивності деформації здвигу по висоті поковки при  $X = 450$  мм і  $Y = 0$  мм показано на рисунку 4.4, б. Найбільша нерівномірність деформації спостерігається при протяжці в плоских бойках (криві 1 і 4). Практично рівномірний розподіл деформації по висоті забезпечують бойки з кутом вирізу 1050 (криві 3 і 6).

#### 4.2 Експериментальна перевірка розрахунку напруг

Експериментальна оцінка напруг, що виникають при куванні, зв'язана із значними труднощами, слідством чого є невелика кількість експериментальних робіт в цій області. Для тестування розробленої моделі по напруженому стану скористаємося результатами досліджень В.К. Воронцова і П.І. Полухина [19], в яких автори методом фото пластичності визначають напружений стан металу при куванні у вирізних бойках в умовах плоского деформованого стану.

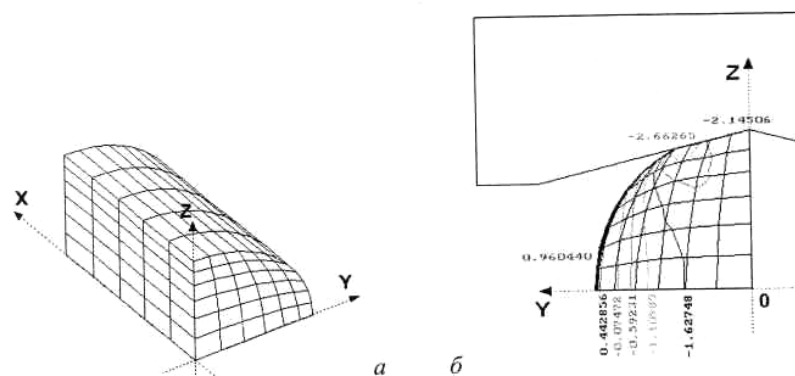


Рисунок 4.5 – Початкова сітка кінцевих елементів (а) і результати розрахунку поля напруг - z у площині симетрії заготовки X0Z (б)

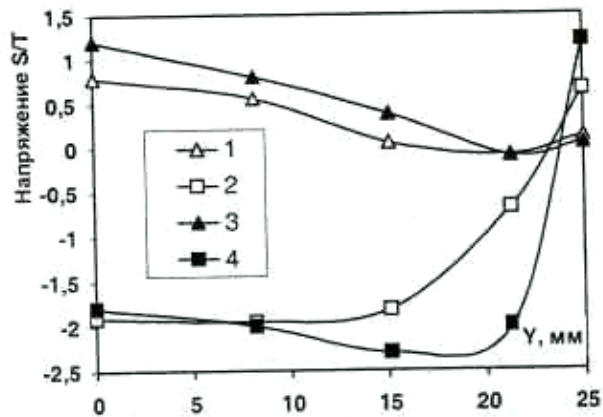


Рисунок 4.6 – Розподіл розрахункових (1 –  $n$ , 2 –  $-z$ ) і експериментально одержаних в роботі [19] напруг (3 –  $-y$ , 4 –  $-z$ )

За допомогою об'ємної моделі виконаємо розрахунок напруг при куванні відповідно до умов експерименту, приведеного в роботі [19, с. 265-277]. Діаметр заготовки – 50 мм, довжина 70 мм, кут вирізу бойків –  $155^\circ$ . Матеріал заготовки – сплав свинцю з 3% Sb. На рис. 4.5, а показана початкова сітка кінцевих елементів, використана при моделюванні і результати моделювання у вигляді одержаного поля напруг  $-z$ , а на рис. 4.6 – порівняння розподілів напруг по горизонтальній осі симетрії поковки між розрахунковими даними і експериментальними для деформації 10%. Істотним є факт якісного збігу зон виникнення напруг розтягування в поковці. Слід зазначити, що, оскільки метод фото пластичності є наближеним, рівень кількісного збігу навряд чи можна вважати достовірною оцінкою.

### 4.3 Моделювання процесу закову горловини

Розглянемо процес закову горловини порожнистої заготовки у вирізних бойках з кутом вирізу  $135$  градусів. Креслення готової поковки представлено на рисунку 4.7. Технологічний процес отримання даної поковки був розроблений спільно з ВАТ "Днепропрес" і увійшов до технологічної документації до пресу зусиллям 31,5 МН, який введений в експлуатацію на Ісфаханському металургійному комбінаті (Іран). Матеріал поковки – сталь 56NiCrMoV7.

Крива, реології даного матеріалу, була узята за даними роботи [20] і приведена на рисунку 4.8.

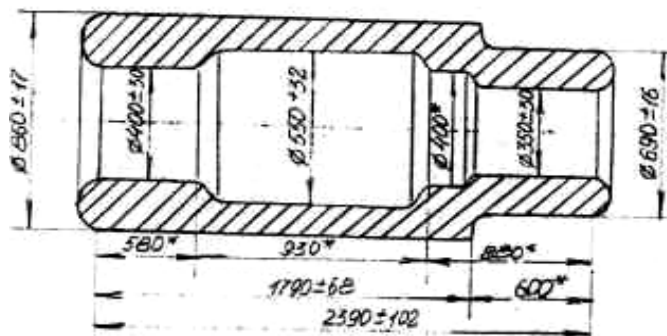


Рисунок 4.7 – Креслення готової поковки

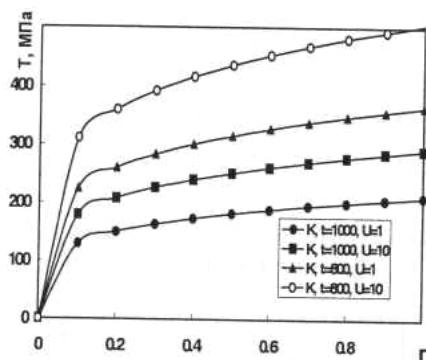


Рисунок 4.8 – Властивості реологій сталі 56NiCrMoV7

За допомогою моделі тривимірного перебігу металу при розробці технології кування було виконане дослідження процесу закову горловини. На рис. 4.9 приведений фрагмент технологічної карти на кування даної деталі, в якій розробка режиму деформації і перевірка перебігу металу на стадії загортання горловини були виконані за допомогою моделі тривимірного перебігу металу. Модельована стадія відповідає 5-му винесенню поковки відповідно до технологічної карти, на цій стадії температура поковки складає  $1000^{\circ}\text{C}$ . Розглянемо етап протяжки з двома кантівками на  $90^{\circ}$ . У розрахунку виконаний аналіз виконання внутрішнього вільного розміру поковки, розподіли деформацій (деформаційного опрацювання) і напруг розтягування в небезпечних перетинах. На рис. 4.10 показана початкова сітка кінцевих елементів, використовувана для виконання даного аналізу і ескізи поковки на

розглянутому етапі розтягування виготовлення деталі. Зокрема, змодельований процес загортання горловини "1" на рис. 4.9.

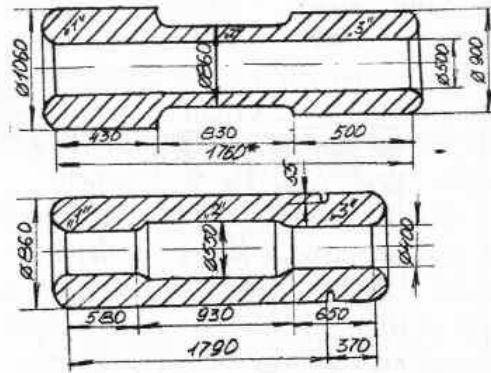
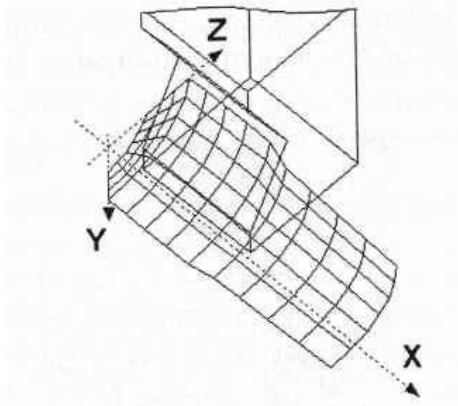


Рисунок 4.9 – Ескіз переходу, відповідного закову горловини "1" і "3"



Рисунку 4.10 – Початкова сітка кінцевих елементів

На рис. 4.11 показано розподіл середньої напруги на внутрішній поверхні поковки. Область появи значних напруг розтягування виділена сірим кольором. У таблиці 4.1 показані стадії деформації заготовки до кантівки (а, б) і після кантівки на  $90^\circ$  (γ, з). На рисунках таблиці видно процес формування внутрішнього профілю поковки. З одержаних даних зроблений висновок про необхідність більшої кількості кантівок для отримання більш рівномірного розподілу деформації і кращого виконання форми внутрішнього отвору діаметром 550 на рис. 4.9 при використанні даного типа бойків і режиму обтиснень.



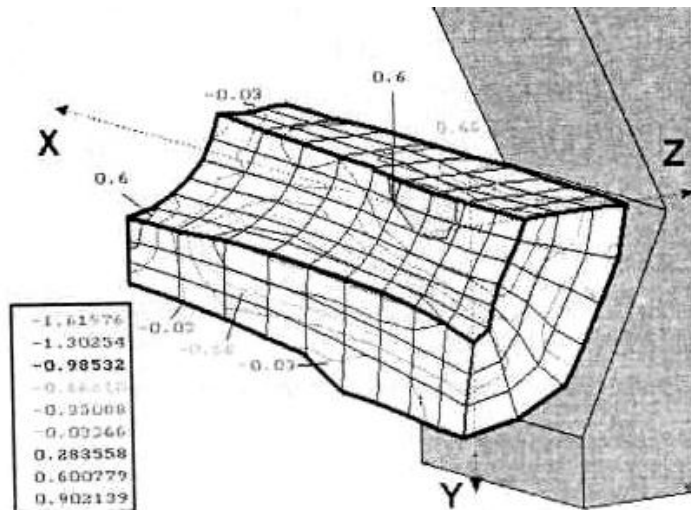
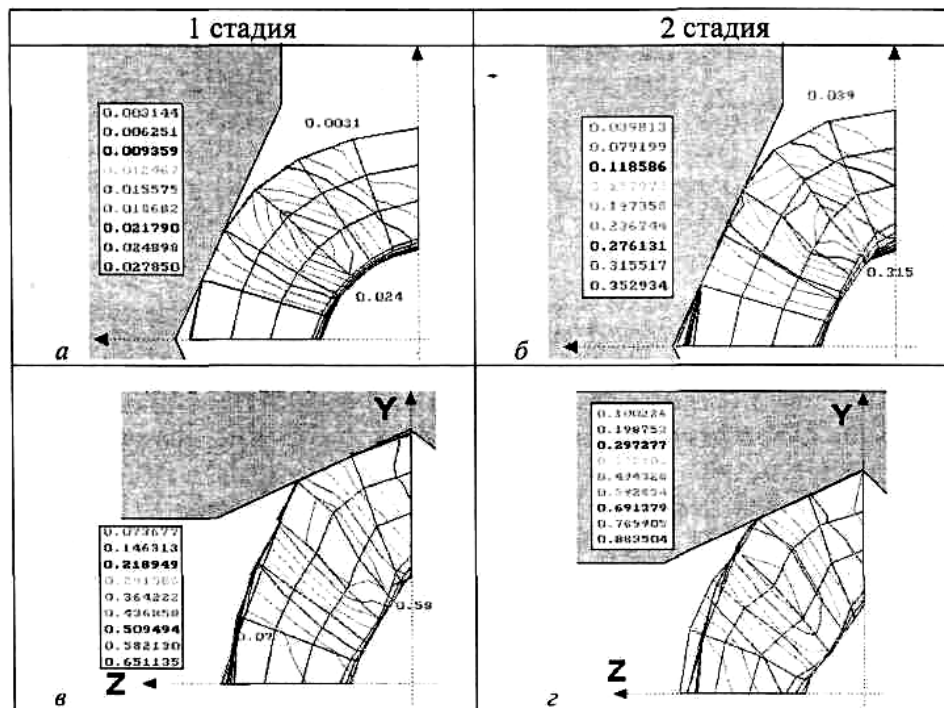


Рисунок 4.11 – Розподіл відносної середньої напруги на першому етапі процесу заковування горловини

Таблиця 4.1. Розподіл деформації на торці поковки при обтисненні з кантівкою на 90°



Приведений аналіз процесу протяжки використаний при розробці технологічних режимів кування на пресі 31,50 МН виробництва ВАТ "Днепропресс" (Україна, м. Дніпропетровськ) і вдосконаленні конструкції деформуючого інструменту до цього пресу.