НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
кафедра Технології виробництва літальних апаратів

«На правах рукопису»
УДК 621.7

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ
«___»_____2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Технології виробництва літальних апаратів»

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: Розробка технології штампування і оснащення для виготовлення деталі «Обтічник»

Виконав (-ла):
студент (-ка) __ курсу, групи ___АТ-21мп_____
__Молод Олександр Валерійович_____ _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: ___ к.т.н., доцент кафедри ТВЛА_____ Гараненко Т. Р.
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (прізвище, ініціали)

Рецензент: _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (прізвище, ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут Навчально-науковий механіко-машинобудівний
кафедра Технології виробництва літальних апаратів
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»
Освітньо-професійна програма «Технології виробництва літальних апаратів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____Антон ЛАВРІНЕНКОВ
«___»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Молод Олександру Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Розробка технології штампування і оснащення для виготовлення деталі «Обтічник».

науковий керівник дисертації Гараненко Тетяна Романівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання),

затверджені наказом по університету від «_03_»___11____ 2023 р. №_5127_

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: процес виготовлення деталі «Обтічник».

4. Вихідні дані _креслення деталі «Обтічник».

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Провести аналітичний огляд науково-технічних публікацій про технологічні процеси виготовлення деталі типу «обтічник» методами штампування.

2. Виконати чисельне моделювання формоутворення типового елементу – «Обтічник» в системі CAD/ CAE DEFORM 3D та проаналізувати умови течії металу та особливості процесу.

3. Розробка штампового оснащення для виготовлення деталі «Обтічник».

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Креслення штампу для другого переходу витягування циліндричного напівфабрикату. Креслення штампу для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатої заготовки.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення та обговорення теми магістерської дисертації «Розробка технології штампування і оснащення для виготовлення деталі "Обтічник"»		
2	Визначення мети, задач, об’єкту та предмету дослідження магістерської дисертації		
3	Розробка плану 1-го розділу магістерської дисертації «Літературний огляд інформаційних джерел»		
4	Написання плану 1-го розділу магістерської дисертації «Літературний огляд інформаційних джерел»		
5	Моделювання технологічного процесу, дослідження основних параметрів		
6	Розробка технологічного процесу виготовлення з використанням даних отриманих з моделювання. Написання 2-го розділу магістерської роботи: Технологічний		
7	Розробка технічної документації – креслень. Написання 3-го розділу магістерської роботи: Конструкторський		

Студент _____
(Власне ім’я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації _____
(Власне ім’я, ПРІЗВИЩЕ)

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

Анотація

Темою даної магістерської дисертації є: Розробка технології штампування і оснащення для виготовлення деталі «Обтічник». У першому розділі був виконаний огляд літературних джерел, де були розглянуто призначення деталі «Обтічник» та основні типи даних деталей. У другому розділі, присвяченому моделюванню та технологічним розрахункам, було розглянуто моделювання заданої деталі методом кінчених елементів у комп’ютерній програмі Deform 2D. Були проведені основні технологічні розрахунки. Третій розділ помістив у собі основні розрахунки та дані для конструювання двох штампів: простої дії для другого переходу витягування циліндричного напівфабрикату та простої дії для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю. Було підібране відповідне пресове обладнання. Магістерська дисертація закінчується загальними висновками по роботі.

Annotation

The topic of this master's dissertation is the Development of Stamping Technology and Tooling for the Production of the "Fairing" Component. The first chapter provides a literature review covering the purpose of the "Fairing" component and its main types. The second chapter, focused on modeling and technological calculations, explores the Finite Element Method modeling of the specified component using the Deform 2D computer program. Basic technological calculations were conducted. The third chapter encompasses essential calculations and data for designing two dies: a single-action die for the second stage of drawing a cylindrical semi-finished product and a single-action die for the second stage of multi-step drawing of a multi-stage profile. Appropriate pressing equipment was selected. The master's dissertation concludes with general conclusions on the work.

ЗМІСТ

ВСТУП

Актуальність розробки технології штампування і оснащення для виготовлення деталі "Обтічник" в сучасних умовах війни визначається наступними факторами:

- **підвищення боєздатності артилерійських систем.** В умовах конфлікту важливо забезпечити артилерійські сили найсучаснішими та ефективними боєприпасами. Розробка нових технологій виготовлення обтічників може значно підвищити аеродинамічні та балістичні характеристики снарядів, забезпечуючи точність та ефективність стрільби;
- **підвищення пробивної здатності.** Обтічники впливають на пробивність снаряду, забезпечуючи йому ефективність у пробиванні броньованих цілей. Покращення технології їх виробництва може призвести до значного зростання пробивної здатності артилерійських систем;
- **ефективність фронтових операцій:** Сучасні умови війни вимагають високої точності та максимальної ефективності з боку військової техніки. Розробка нових технологій для виробництва обтічників може значно поліпшити ці характеристики, що в свою чергу сприятиме ефективнішому веденню бойових дій;
- **мінімізація втрат.** Висока точність та пробивна здатність снарядів може допомогти зменшити кількість витрат боєприпасів для досягнення максимального ефекту. Це особливо важливо у ситуаціях, коли ресурси обмежені;
- **адаптація до сучасних загроз.** Враховуючи сучасні методи оборони та бронетехніку, розвиток нових технологій для обтічників є ключовим компонентом для адаптації до сучасних військових загроз та збереження конкурентоспроможності артилерійських систем;
- **покращення безпеки власних військ.** Вдосконалені боєприпаси, обладнані новими обтічниками, можуть допомогти знизити ризик

випадкових витоків і підвищити безпеку використання артилерійської техніки на полі бою.

Мета роботи – розробка процесу виготовлення та його обґрунтування на основі дослідження основних закономірностей формоутворення деталі «Обтічник».

Задачі дослідження:

1. Провести аналітичний огляд науково-технічних публікацій про технологічні процеси виготовлення деталі типу «обтічник» методами штампування.

2. Виконати чисельне моделювання формоутворення типового елементу – «Обтічник» в системі CAD/ CAE DEFORM 3D та проаналізувати умови течії металу та особливості процесу.

3. Розробка штампового оснащення для виготовлення деталі «Обтічник».

Об’єкт дослідження – процес виготовлення деталі «Обтічник».

Предмет дослідження – закономірності формоутворення деталі «Обтічник».

Методи дослідження – для вибору оптимальної технології виготовлення заданої деталі використовувалися основні положення теорії обробки металів тиском, та виконувалося моделювання обраних процесів за допомогою програмного забезпечення DEFORM-3D, використовуючи метод скінчених елементів.

Наукова новизна. Розроблена нова технологія виготовлення деталей типу "Обтічник", а саме багатоопераційне витягування та обтискування багатоступінчастого профілю з подальшим калібруванням та термічною обробкою між переходами.

Практичне значення отриманих результатів: на основі виконаних досліджень було отримано результати, що лягли в основу розробки нової технології виготовлення деталі «Обтічник» та проектування відповідного штампового оснащення.

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація складається з вступу, 3 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота містить 121 сторінку, 101 рисунок, 3 таблиці, 22 найменування літературних джерел.

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

В даній роботі розглядається можливість виготовлення заданої деталі типу «Обтічник». Ця деталь є балістичним обтічником для артилерійського снаряду калібром 30 мм. На рис.1.1 представлено дану деталь. Матеріал виготовлення – Сталь 08кп.

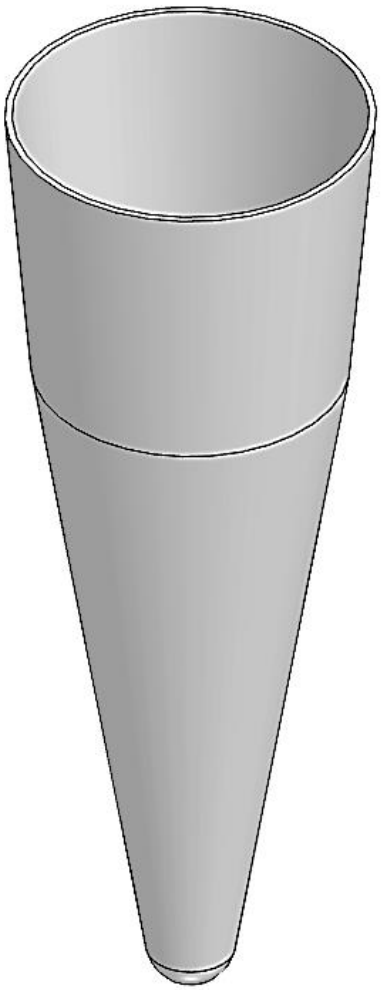


Рис.1.1. Деталь «Обтічник»

1.1. Призначення і галузь використання балістичних обтічників для артилерійських пострілів

Балістичний наконечник або обтічник - це складова деяких видів артилерійських снарядів, що призначена для поліпшення їх аеродинамічних властивостей. Зазвичай використовується у конструкції калібрових

тупоголовних бронебійних снарядів, які оптимізовані для пробиття броньованих перешкод при значних кутах зіткнення за рахунок ефекту нормалізації ("повороту"). У своєму початковому вигляді ці боєприпаси мають невигідну, з точки зору аеродинаміки, форму з великим коефіцієнтом лобового опору, що призводить до швидкої втрати швидкості на траєкторії їх польоту та зменшенню їх пробивної здатності. Для усунення цього недоліку на головну частину снаряду почали встановлювати легкий загострений обтічник оживальної або конічної форми, який мінімізує втрати кінетичної енергії в процесі обтікання повітрям його тіла. При зіткненні з перешкодою він зміщується, не впливаючи на термінальну балістику та пробивні властивості боєприпасу. Часто балістичний наконечник виготовляється з магнієвого сплаву, що дає при попаданні в ціль яскравий та добре помітний спалах [1].

У морських броньованих снарядів з броньованими наконечниками, балістичні наконечники з'явилися на початку XX століття, оскільки у флоті виникла потреба пробити броньовані плити при значному куті зіткнення з ними (броньовані палуби та їх нахили на великих військових кораблях - броненосцях та крейсерах). Адмірал С.О. Макаров був одним із винахідників та активних прихильників впровадження цього типу боєприпасів, через що вітчизняні броньовані наконечники також називали "макаровськими". Однак це удосконалення погіршило аеродинамічні властивості снарядів, тому незабаром до снарядів з броньованими наконечниками було додано легкий балістичний, щоб усунути негативні наслідки від застосування першого. З появою сухопутних бойових машин, що використовують у конструкції броньовані плити з раціональними кутами нахилу, тупоголові броньовані снаряди з балістичними наконечниками увійшли в бойові комплекти танкових, самохідних та протитанкових гармат [1].

«Обтічник», що розглядається (рис.1.1), використовується при складанні артилерійського снаряду калібром 30 мм. Основними типами боєприпасів калібром 30 мм є наступні [2,4]:

30×113 мм B

• M230 (США, 1975-…)(рис.1.2)

• ADEN (англійська револьверна авіагармата, 1954-...)

• DEFA 550 (французька револьверна авіагармата, 1954-...)

• GIAT 30 M 781 (французька револьверна авіагармата)

Рис.1.2. Боєприпаси 30×113 мм для гармати M230

30×150 мм B

• GIAT 30 M 791 (французька авіагармата)

30×155 мм B

• НР-30 (радянська авіагармата 1950-х рр.)

30×165 мм (рис.1.3.)

• ГШ-30-1 (радянська авіагармата)

• ГШ-30-2 (радянська авіагармата)

• ГШ-6-30 (радянська ПВБС)

• 6К30ГШ (радянська ПВБС)

• АК-630 (радянська автоматична корабельна артилерійська установка)

• АК-630М-2

• АК-630М1-2

• АК-306 (радянська автоматична корабельна артилерійська установка)

• 2А42

• 2А72

• 2А38

Рис.1.3. Боєприпаси 30×165 мм

30×170 мм

• L21A1 RARDEN

• KCB

30×173 мм (рис.1.4)

Рис.1.4. 30×173 мм боєприпаси БМП «Пума». Зліва-направо: практичний DM 58, осколковий (KETF) DM 21, стрілоподібний (БОПТС) DM 33, навчальний DM 60.

• GAU-8 Avenger боєприпас з алюмінієвою гільзою для ВПС

• Mark 44 (Bushmaster II)

• EMAK 30 Denel Land Systems (ПАР)

• Maadi Griffin

• Rheinmetall Mk 30

• Ерлікон КСА (Швейцарія)

• Goalkeeper ЗРАК (Нідерланди, 1980-і роки)

• Тип 730 ЗРАК (Китай, 1993-)

• Тип 1130 ЗРАК (Китай)

• Ч/PJ14(КС/AN2) (Китай)

• Ч/PJ17 (Китай)

• Мааді Гріффін 30мм (США, гвинтівка)

30×192 мм

• Zastava M86

• Zastava M89

30×210 мм B

• АК-230 (радянська автоматична корабельна артилерійська установка)

30×210 мм

• M53/59 Praga (Чехословаччина, 1957-)

30×250 мм Caseless

• Rheinmetall RMK 30 (експериментальна німецька безвідкатна гармата під боєприпас зі згораючою гільзою, скорострільність - 300 пострілів на хвилину, ефективна дальність стрільби - 2 км [1]).

30×90 мм RB

• МК 108 (німецька авіагармата, ВМВ)

30×92 мм RB

• Тип 2 (японська авіагармата, ВМВ)

30×114 мм

• Но-155 (японська авіагармата, ВМВ)

30×122 мм

• Тип 5 (японська авіагармата, ВМВ)

30×184 мм В

• МК 101 (німецька авіагармата, ВМВ)

• МК 103 (німецька авіагармата, ВМВ)

1.2. Класифікація деталі «Обтічник»

«Вершина снаряду», або «обтічник» може мати різноманітні форми [2]. Основні з них показані на рисунку 1.5:

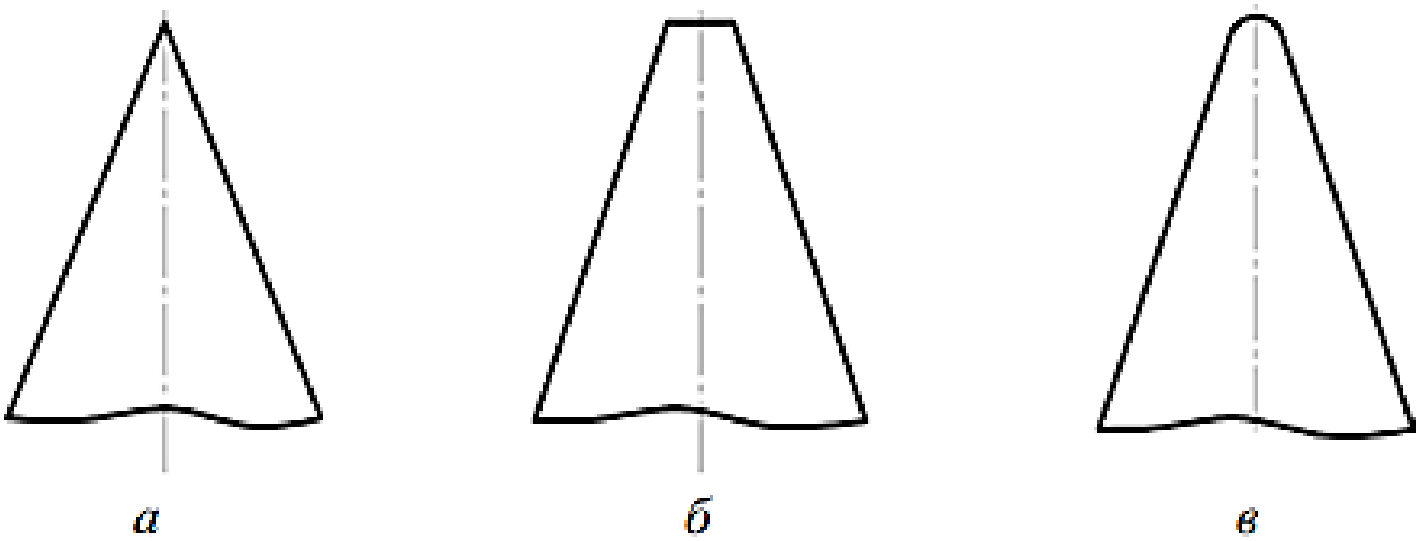


Рис.1.5. Форми обтічників: а – гостра; б – плоскопритуплена; в – заокруглена

Гострі наконечники [2] - це найбільш поширена форма наконечників, яку використовують в багатьох типах боєприпасів, включаючи кулі, снаряди і ракети. Вони мають форму конуса з гострим кінцем, який дозволяє їм проникати в тверді матеріали з меншим опором, зменшуючи втрати енергії при зіткненні з бар'єром.

Гострі наконечники використовуються в різноманітних ситуаціях, де потрібен проникаючий ефект. Наприклад, вони застосовуються у снарядах для протитанкового захисту, щоб пробити танкову броню або знищити бункери та інші опорні точки ворога.

Один з недоліків гострих наконечників полягає у тому, що вони можуть легко пройти крізь ціль, не наносячи достатньої шкоди. Також гострі наконечники не ефективні при ударі в м'які тканини або воду, де вони можуть легко втратити свою енергію та швидкість.

У загальному, гострі наконечники є дуже ефективними в проникненні в тверді матеріали з мінімальною втратою енергії, що робить їх корисними у воєнних ситуаціях та в інших сферах, де потрібен проникаючий ефект.

Плоскопритуплені [2] наконечники є посередньою формою між гострим і заокругленим. Вони мають звичайно плоску основу з плавним переходом до округлого кінця. Така форма наконечника дозволяє зберігати частину енергії снаряду, що дозволяє підвищити пробивну здатність.

Однією з переваг плоскопритуплених наконечників є менше погіршення аеродинамічних характеристик у порівнянні з гострими наконечниками. Це робить їх більш ефективними для снарядів, які пролітають на великій відстані, таких як снаряди гармат. В той же час, плоскопритуплені наконечники можуть бути менш ефективними для снарядів, які працюють на коротких відстанях, таких як снаряди малих калібрів, які використовуються в автоматичних гвинтівках та пістолетах. Плоскопритуплені наконечники, на відміну від гострих, не проникають в тверді матеріали, але за рахунок своєї широкої грані можуть викликати значні пошкодження на поверхні цілі. Наприклад, вони можуть здатні розрізати колеса автомобілів, пробивати стіни будівель, руйнувати укріплення та інші об'єкти.

Плоскопритуплені наконечники зазвичай використовуються у снарядах, які призначені для пробивання броні. Завдяки їх формі вони здатні високоефективно взаємодіяти з броневою поверхнею та відтворювати на ній значні пошкодження. Такі снаряди є основою в бронебойному арсеналі, що використовується у танках, броньованих військових машинах, артилерії та інших засобах бойової техніки.

Заокруглені наконечники [2] мають форму, що нагадує напівкулю. Їх використовують у випадках, коли потрібно отримати максимальну проникаючу здатність, але при цьому не допустити руйнування самого наконечника при зіткненні з металевою поверхнею.

Заокруглені наконечники використовуються, наприклад, у великокаліберних снарядах, що призначені для пробивання товстостінної броні. Ці наконечники є найбільш ефективними серед усіх видів бронебійних наконечників, адже вони здатні зберегти форму та інтегрітет при великих швидкостях та зіткненнях з твердими поверхнями. Заокруглені наконечники часто використовуються у снарядах для м'яких цілей, таких як снаряди для вогнеметів, вибухонебезпечних матеріалів та інших аналогічних випадків, де точність не є особливою важливою, але велика енергія і швидкість важливі. Вони також застосовуються у деяких протитанкових снарядах, які мають завдання пробити тонку броню та нанести шкоду обладнанню противника.

Заокруглені наконечники мають форму, яка є комбінацією гострої і плоскої форм. Зазвичай вони мають радіус закруглення від 0,5 до 1,5 діаметрів снаряду. Ця форма наконечника має кілька переваг у порівнянні з іншими формами.

По-перше, заокруглені наконечники зменшують тиск на поверхню, з якою вони зіштовхуються. Це зменшує ризик пошкодження наконечника при ударі та сприяє збереженню енергії снаряду.

По-друге, заокруглені наконечники менше нахиляються до відхилення від свого шляху при зіткненні з поверхнею, що покращує точність стрільби.

По-третє, заокруглені наконечники менш вразливі до ерозії, оскільки не мають гострих кутів, які могли б випаровуватися чи обламуватися під час руху через повітря.

Однак, заокруглені наконечники мають свої обмеження. Вони дорожчі у виробництві та складніші в обробці, а також можуть бути менш точними при польоті через повітря. Тому їх використовують лише в тих випадках, коли це дійсно необхідно.

Також розрізняють **головну частину снаряду** [5] - це частина корпусу від вершини снаряда до верхнього зрізу верхнього центруючого згущення. Форма головної частини характеризується геометричними елементами, що її утворюють, та довжиною, яка зазвичай становить від 1,5 до 3,5 калібрів. Збільшення довжини головної частини поліпшує зовнішню балістику снаряда, збільшує дальність стрільби, зменшує коефіцієнт наповнення снаряда, погіршує умови руху снаряда по каналу ствола гармати і, отже, погіршує точність стрільби. Ступінчаста форма головної частини деяких кумулятивних снарядів підвищує точність стрільби, хоча погіршує їх балістичні властивості. Форми головної частини снаряду покажемо на рис.1.6 [2]:

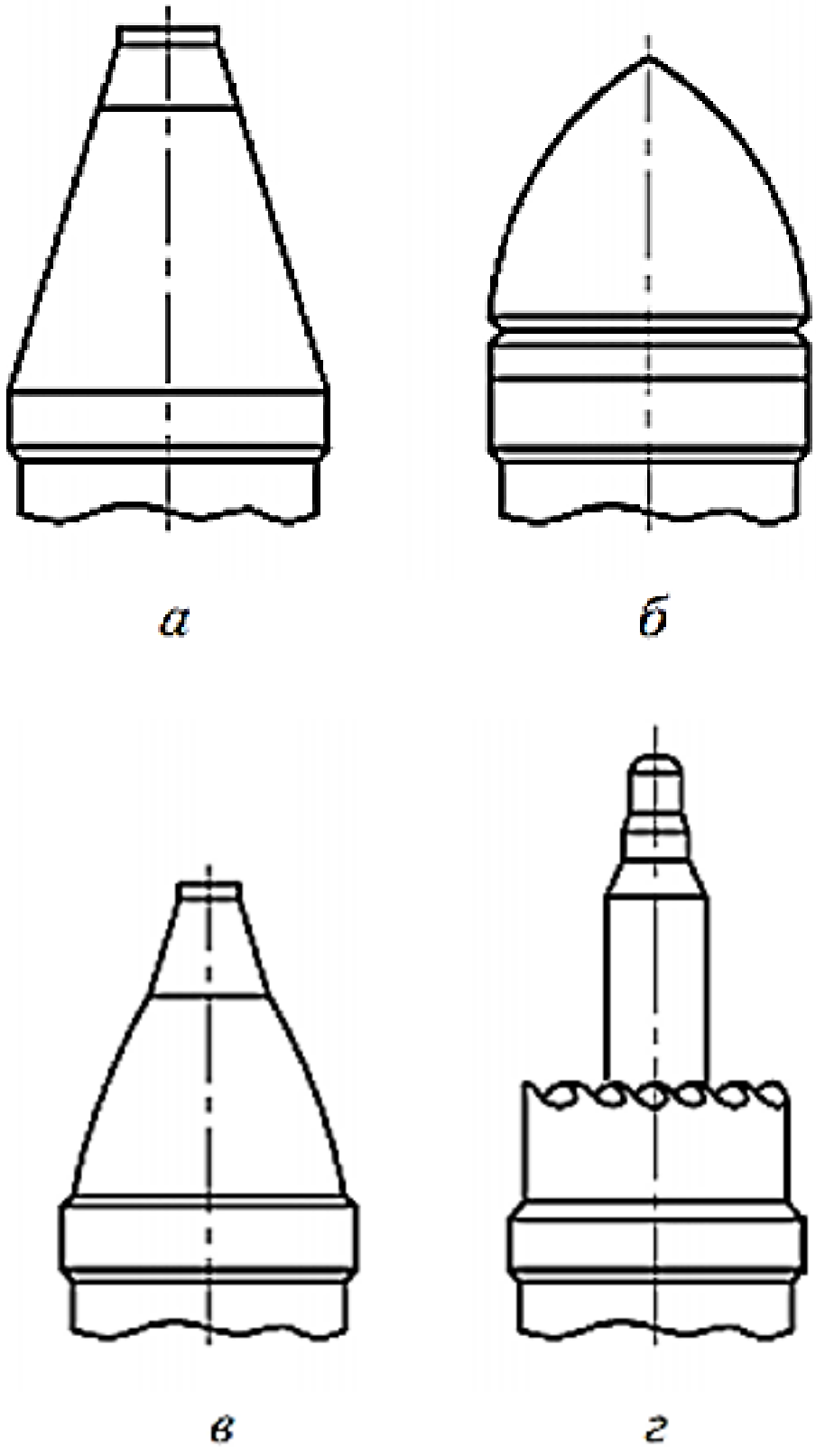


Рис.1.6. Форми головної частини артилерійського снаряду: а – конічна; б – оживальна; в – оживально-конічна; г – ступінчата

Вибір форми головної частини обумовлений такими факторами, як аеродинаміка, високий коефіцієнт наповнення, міцність при взаємодії з перешкодою. Твірна конфігурації головної частини снаряду включають в себе такі форми, як:

• відрізок прямої - конічної форми. Така форма характеризується тим, що вершина головної частини снаряду має конусну форму, а бічні сторони представляють собою прямі лінії. Така форма часто використовується для снарядів, які мають високу початкову швидкість, оскільки вона допомагає зменшити опір повітря та збільшити дальність стрільби;

• дуга кола радіусом 2...25 калібрів - оживальної форми. Ця форма характеризується тим, що бічні сторони головної частини снаряду мають форму дуги кола. Така форма допомагає зменшити відскок снаряду під час зіткнення з поверхнею цілі, що збільшує ефективність вогню;

• поєднання дуги кола з відрізком прямої - оживально-конічної форми. Ця форма поєднує в собі переваги попередніх двох форм. Вона допомагає знизити опір повітря та відскок снаряду, збільшити дальність стрільби та ефективність вогню;

• парабола та ін. Крім вищезгаданих форм, головна частина снаряду може мати різні параболічні та інші форми, що забезпечують більш точний політ снаряду та зменшують імовірність відскочити під час зіткнення з ціллю;

1.3. Матеріали для виготовлення деталі «Обтічник»

Основні вимоги до матеріалів для обтічників включають в себе:

легкість і міцність. Матеріали повинні бути легкими, але водночас володіти достатньою міцністю, щоб забезпечити стійкість до аеродинамічних навантажень і динаміки польоту;

стійкість до абразивного зносу. Обтічники мають стикатися з великою кількістю абразивних частинок під час польоту через атмосферу, тому матеріал повинен бути стійким до зносу;

стійкість до термічних впливів. Під час польоту снаряд може зазнавати значних температурних змін, від високих температур під час запуску до низьких у високих альтитудах. Матеріал повинен бути стійким до цих термічних змін;

ефективність обробки. Обтічники мають складні форми, і матеріал повинен бути легко оброблюваним для створення потрібної геометрії;

колірні властивості. Залежно від вимог та стратегій використання снарядів, обтічники можуть мати спеціальні вимоги до кольору та оптичної видимості;

вартість та доступність. Матеріали повинні бути доступними за розумною ціною та виготовлятися масово.

Для виготовлення обтічника задано сталь 08кп. Сталь 08кп є сталлю загального призначення. Вона відноситься до конструкційних сталей і має невеликий вміст вуглецю. Характеристики сталі 08кп [3]:

хімічний склад. Вміст вуглецю: приблизно 0.08%. Міцність залежить від механічної та термічної обробки, але зазвичай на рівні звичайних конструкційних сталей;

властивості. Має нормальні конструкційні властивості, придатні для виготовлення деталей конструкцій та виробів загального призначення;

застосування. Зазвичай використовується для виготовлення заготовок, компонентів конструкцій, а також для різноманітних виробів, де вимагається середня міцність.

Матеріалом-замінником є сталь 10кп. Сталь 10кп є конструкційною сталлю, аналогічною сталі 08кп, і вона також відноситься до стандарту сталей загального призначення. Ось деякі характеристики сталі 10кп [3]:

хімічний склад. Вміст вуглецю: приблизно 0.10%. Міцність: рівень міцності буде трошки вищим, ніж у сталі 08кп через більший вміст вуглецю;

властивості. Має конструкційні властивості, що роблять її придатною для виробництва заготовок, компонентів конструкцій, а також для різноманітних деталей та виробів загального призначення;

застосування. Зазвичай використовується для виготовлення стандартних компонентів машин, деталей конструкцій, кріпильних елементів та інших виробів, де необхідна помірна міцність та добра оброблюваність.

Окрім традиційних сталей, для виготовлення бронебійних наконечників також використовуються інші матеріали [2,3], зокрема:

1. Титан та його сплави - мають високу міцність і здатність до витримування високих температур. Також мають низьку вагу, що забезпечує більшу швидкість польоту снаряду. Титанові обтічники широко використовуються у сучасних артилерійських снарядах.
2. Вольфрам - має високу міцність і високу густина, що дозволяє збільшити пробивну здатність снаряду. Але матеріал має недоліки - його вага висока, тому використання вольфраму може знизити швидкість польоту снаряду, і він може летіти меншу відстань.
3. Кераміка - має високу пробивну здатність, що дозволяє знизити вагу снаряду і збільшити швидкість польоту. Керамічні обтічники використовуються в сучасних снарядах.

4. Дюралюміній – цей сплав алюмінію з міддю, магнієм та іншими металами використовується для виготовлення обтічників, які мають високу міцність та низьку вагу.

5. Композитні матеріали – це сучасні матеріали, що складаються з різних компонентів, таких як кевлар, карбон, скловолокно тощо. Вони дозволяють виготовляти обтічники з високими пробивними властивостями та малою вагою.

1.4. Технології виготовлення деталі «Обтічник»

Деталь «Обтічник» відноситься до типу високих конічних деталей без фланця [8]. Високими називаються конічні деталі, у яких відносна висота $\frac{H}{d} > 0{,}65$ [8]. Існує декілька способів отримання такого типу деталей. Нижче Розглянемо основні з них.

Спосіб багатоопераційного витягування ступінчатого профілю з наступним калібруванням є одним з методів формування ступінчастих деталей без фланця (рис.1.7.) [6]. Цей процес включає послідовне виконання кількох операцій витягування та калібрування для отримання бажаної форми та розмірів деталі.

Основні кроки та процедури цього методу наступні:

1. Підготовка матеріалу: починаючи з листового матеріалу, який може бути металом або іншим підходящим матеріалом, виготовляють заготовку відповідно до потрібних розмірів та форми деталі.

2. Витягування: заготовка встановлюється у штампі, а потім піддається впливу витягувальної сили. Цей процес дозволяє матеріалу розтягнутися та набути форму ступінчастого профілю. Витягування може бути здійснене за допомогою витягувальних плунжерів, матриць та інших витягувальних інструментів.

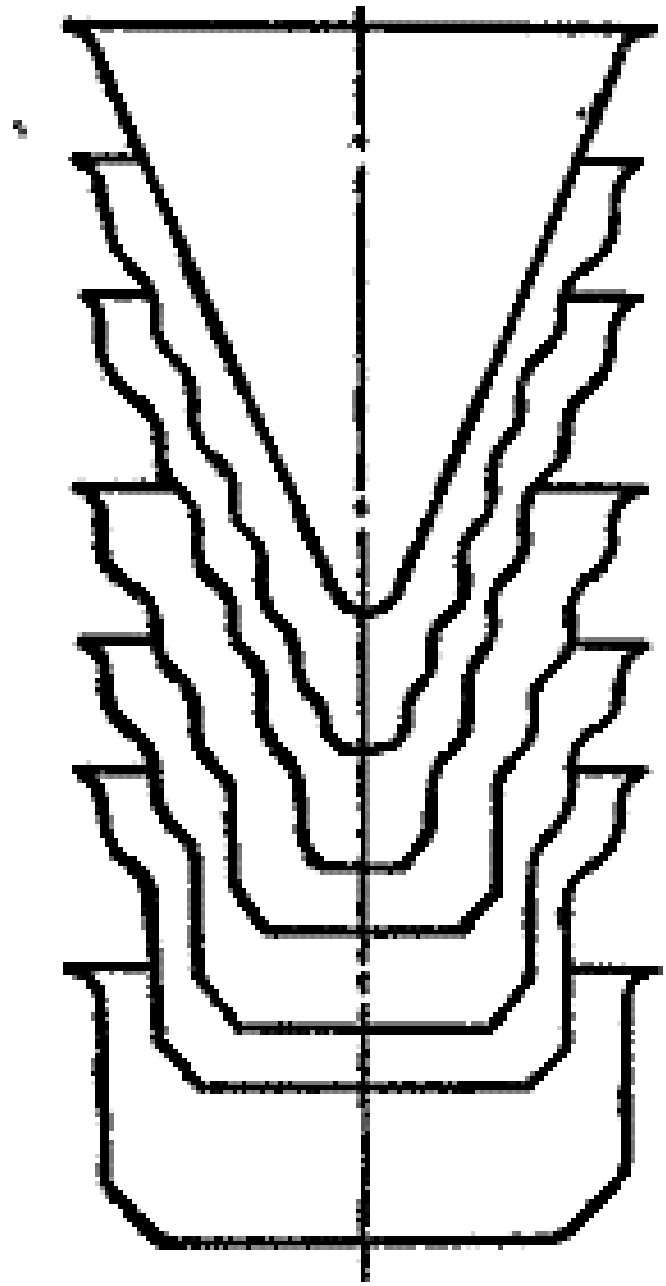


Рис.1.7. Багатоопераційне витягування багатоступінчатого профілю з наступним калібруванням

3. калібрування: Після витягування деталь може мати нерівномірність, неправильну форму або недостатню точність розмірів. Для досягнення бажаної форми та розмірів використовується калібрування. Цей процес включає використання спеціальних калібрів або матриць для притискання та формування деталі відповідно до заданих параметрів.

4. Повторні операції: у разі потреби можуть бути виконані додаткові кроки витягування та калібрування для досягнення бажаного результату. Цей процес може включати повторні цикли витягування та калібрування для кожного ступеня ступінчастого профілю.

5. Остаточне оброблення: після завершення витягування та калібрування, деталь може піддаватися обробленню, такому як зняття грат, обробка країв, полірування або інші процеси для поліпшення якості та зовнішнього вигляду.

Однак цей процес має і свої недоліки [8]: різностінність, наявність слідів від переходів, а також необхідність великої кількості штампів.

Спосіб поступового збільшення висоти конуса є ще одним методом виготовлення високих конічних деталей без фланця (рис.1.8.) [6]. Цей процес включає послідовне збільшення висоти конуса шляхом поетапного формування та розтягування матеріалу.

Цей метод виготовлення високих конічних деталей без фланця є ефективним інженерним рішенням, яке забезпечує точність та повторюваність форми, а також дозволяє досягти потрібних розмірів та характеристик деталі. Він широко використовується в промислових секторах [7].

Основні кроки та процедури цього методу наступні:

1. Підготовка матеріалу: починаючи з плоского або невеликого конусоподібного заготовки, виготовляють початкову форму деталі з необхідним основним діаметром та невеликою висотою конуса.

2. Перший етап збільшення висоти: заготовка утримується у витягувальній прес-формі, а потім піддається впливу витягувальної сили. Це призводить до поступового розтягування матеріалу, збільшення висоти конуса та зміни форми деталі. Цей процес може включати використання

витягувальних плунжерів, матриць та інших витягувальних інструментів для забезпечення правильної форми деталі.

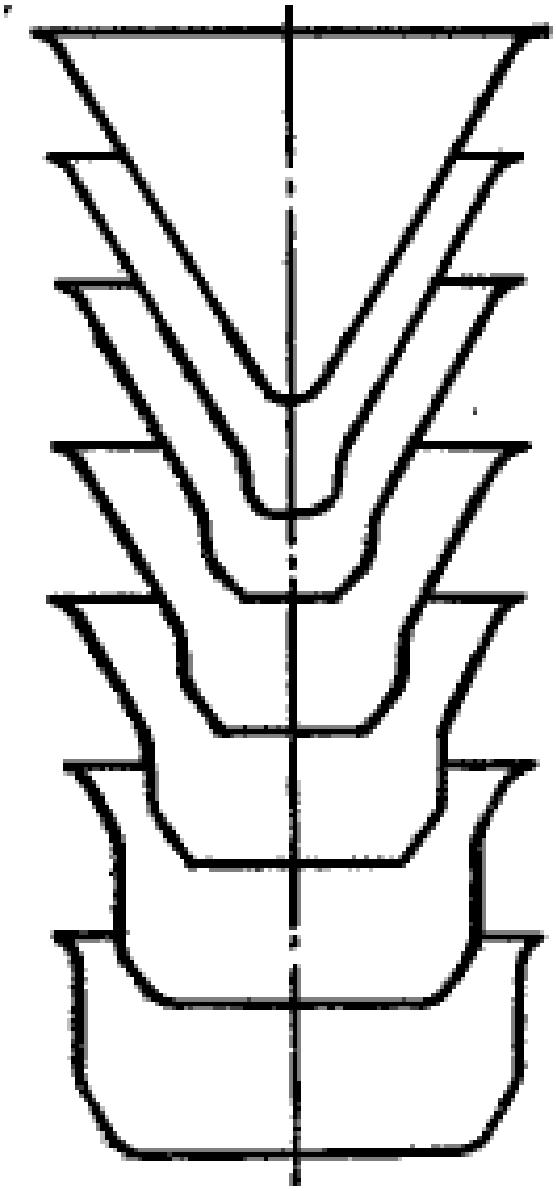


Рис.1.8. Багатоопераційне витягування способом поступового збільшення висоти конуса

3. Проміжні етапи збільшення висоти: після першого етапу збільшення висоти конуса можуть бути виконані додаткові етапи збільшення висоти за допомогою подібних методів, включаючи витягування та розтягування матеріалу. Кожен проміжний етап додає до висоти конуса і змінює форму деталі.

4. Заключний етап збільшення висоти: після виконання необхідної кількості проміжних етапів збільшення висоти, досягається бажана висота конуса та форма деталі. Витягнута деталь може піддаватися подальшій обробці, такій як зняття грат, обробка країв або інші процеси, щоб покращити якість та зовнішній вигляд.

1.5. Наклеп металу та відпал при конічному витягуванні деталей

Наклеп та зміцнення матеріалу є важливими аспектами при витяжці конічних деталей [6]. Ці процеси спрямовані на покращення міцності та довговічності деталі шляхом стимулювання мікроструктурних змін та внутрішніх напружень у матеріалі. Основні методи, які використовуються для наклепу та зміцнення матеріалу при витяжці, включають:

1. Пластичне деформування: під час витягування конічної деталі, матеріал піддається інтенсивному пластичному деформуванню. Це призводить до зміни мікроструктури матеріалу, формування дислокацій та виникнення внутрішніх напружень. Ці процеси сприяють зміцненню матеріалу та покращенню його механічних властивостей.
2. Рекристалізація: після пластичного деформування матеріал може пройти процес рекристалізації. Рекристалізація відбувається при певних температурах та часі утримання, коли в матеріалі відбувається відновлення деформованої структури. Цей процес допомагає усунути дислокації та внутрішні напруження, що можуть виникнути під час витягування.
3. Термічна обробка: після витягування матеріал може бути підданий термічній обробці, яка може включати нагрівання, утримання при певній температурі та охолодження. Термічна обробка може сприяти подальшому зміцненню матеріалу, зменшенню внутрішніх напружень та покращенню його механічних властивостей.

4. Додаткові обробки: деякі деталі можуть бути піддані додатковим обробкам, таким як обробка поверхні, наплавлення або гартування. Ці процеси також сприяють зміцненню та збільшенню міцності матеріалу.

Наклеп та зміцнення матеріалу при витяжці конічних деталей мають на меті забезпечити високу міцність, довговічність та стабільність деталей. Вони дозволяють матеріалу витримувати експлуатаційні навантаження та забезпечують високу якість та надійність виробу.

Відпал є одним з важливих процесів, що застосовуються при виготовленні конічних деталей під час їх витягування. Він спрямований на зменшення внутрішніх напружень, покращення мікроструктури та забезпечення бажаних механічних властивостей у деталі.

Відпал виконується шляхом нагрівання деталі до певної температури, утримання при цій температурі протягом певного часу, а потім повільного охолодження. Цей процес може бути здійснений в спеціальних печах або пічках, де контролюється температура та час витримки [9].

Відпал має кілька цілей:

1. Зменшення внутрішніх напружень: під час витягування конічної деталі у матеріалі виникають внутрішні напруження. Відпал сприяє зменшенню цих напружень і покращенню структурної рівноваги в матеріалі. Це допомагає уникнути деформацій та руйнування деталі під час подальшої експлуатації.
2. Релаксація структури: відпал дозволяє відновити структуру матеріалу та відпустити внутрішні напруження, що виникають під час пластичного деформування під час витягування. Це допомагає зберегти однорідність та стабільність матеріалу.

3. Покращення механічних властивостей: відпал може покращити механічні властивості матеріалу, такі як міцність, твердість, еластичність та пластичність. Він дозволяє забезпечити бажані механічні характеристики, що вимагаються для конкретного застосування деталі.

Відпал при витягуванні конічних деталей є складним процесом, який вимагає точного контролю температури, часу витримки та охолодження. Це дозволяє досягти оптимальної мікроструктури та механічних властивостей у виробленій деталі, забезпечуючи високу якість та надійність продукту.

1.6. Захисні покриття для деталей типу «Обтічник»

Захисні покриття для обтічників використовуються з метою забезпечення їх довговічності, захисту від корозії та зносу, а також для поліпшення естетичного вигляду [11]. Основні типи захисних покриттів, які можуть застосовуватися на обтічниках, включають:

1. Гальванічні покриття (рис.1.9.): Цей тип покриття включає гальванічне осадження тонкого шару металу на поверхню обтічника. Найпоширенішими гальванічними покриттями є нікель, хром, цинк та мідь. Гальванічне покриття забезпечує високу стійкість до корозії та зносу, а також може мати декоративні властивості [10].

2. Покриття методом порошкового фарбування: Цей метод використовує електростатичний заряд для нанесення тонкого шару порошку на поверхню обтічника. Після нанесення порошку деталь висушують та нагрівають, що дозволяє порошковому матеріалу перетворитися на тверду плівку. Порошкове фарбування забезпечує високу стійкість до корозії, зносу та ультрафіолетового випромінювання, а також може бути виконане в різних кольорах та фінішних ефектах.

Рис.1.9. Гальванічне цинкування деталей типу «конус»

3. Електролітичні покриття: Цей тип покриття використовує електролітичний процес для нанесення захисного шару на поверхню обтічника. Наприклад, анодне оксидування алюмінію (анодне оксидування) може бути використане для створення твердого оксидного шару на алюмінієвих обтічниках. Цей шар забезпечує стійкість до корозії та може мати додаткові естетичні властивості.

4. Оглядові покриття: Цей тип покриття забезпечує прозорий захисний шар на поверхні обтічника, що дозволяє зберегти його естетичний вигляд та захистити від зовнішніх впливів. Оглядові покриття можуть бути виконані з використанням лаків, полімерів або спеціальних захисних засобів.

Кожен тип захисного покриття має свої переваги та області застосування, і вибір конкретного покриття залежить від вимог до деталі, її

середовища експлуатації та бажаного вигляду. Важливо враховувати, що належне нанесення та якість покриття є ключовими факторами для забезпечення ефективного захисту обтічників.

1.7. Використання програм для скінченого моделювання

Деталь «Обтічник» має складну форму, тому для дослідження поведінки матеріалу використовують 2 основні методи:

1. Емпіричне дослідження
2. Дослідження з використанням програм для скінченого моделювання

В даній роботі дослідження буде проводитись саме другим способом саме через його доступність. На даний момент у світі існують багато програм для скінченого моделювання. Нижче перераховані найпоширеніші програми для скінченого елементного моделювання.

1. ANSYS: ANSYS є однією з найпопулярніших програм для скінченого елементного моделювання. Вона надає широкі можливості для аналізу різних фізичних явищ, включаючи механічні, термічні, електромагнітні та реологічні. ANSYS має велику кількість модулів, що дозволяє виконувати розрахунки в різних галузях, включаючи інженерію конструкцій, машинобудування, електроніку та інші [12].
2. Abaqus: Abaqus є потужним пакетом програмного забезпечення для скінченого елементного моделювання, розробленим компанією Dassault Systèmes. Він використовується для вирішення складних задач механіки твердих тіл, геомеханіки, термічних аналізів, динаміки структур та багато інших. Abaqus має розширений набір можливостей, включаючи можливість враховувати нелінійні матеріальні властивості, контакти між деталями, великі деформації та інші складні ефекти [13].
3. MSC Nastran: MSC Nastran є популярним інструментом для скінченого елементного моделювання, який використовується в різних

галузях, включаючи авіацію, автомобільну промисловість, суднобудування та багато інших. Він має потужні можливості для розрахунку напружено-деформованого стану, динаміки, теплопередачі та інших фізичних явищ. MSC Nastran забезпечує широкий набір інструментів для аналізу та оптимізації конструкцій [14].

4. COMSOL Multiphysics: COMSOL Multiphysics є програмою для моделювання різних фізичних явищ, включаючи механіку, теплопередачу, електромагнетизм, хімію та інші. Вона дозволяє розраховувати не тільки одну фізичну область, але й взаємодію між різними фізичними явищами. COMSOL Multiphysics забезпечує гнучкий інтерфейс для побудови складних моделей та проведення розрахунків [15].

5. LS-DYNA: LS-DYNA є програмним забезпеченням для чисельного моделювання динамічних процесів, включаючи деформацію, руйнування, удари, вибухи та інші. Вона широко використовується в автомобільній промисловості, авіації, оборонному секторі та інших галузях. LS-DYNA має потужні інструменти для моделювання складних поведінки матеріалів та великих деформацій [16].

6. Deform: Deform є програмою для скінченого елементного моделювання, спеціалізованою на аналізі процесів деформування та обробки металів. Вона дозволяє вирішувати завдання формування, кування, витягування, прокатки та інших процесів обробки металів. Deform має розширений набір інструментів для моделювання матеріального поведінки, контакту між деталями, взаємодії з інструментами та аналізу деформацій та напружень. За допомогою Deform3D можна проводити різноманітні дослідження, такі як аналіз міцності конструкцій, оптимізація форми деталей, вивчення впливу температурних навантажень та багато іншого. Ця програма є потужним інструментом для інженерного аналізу та досліджень у галузі механіки матеріалів. [17].

7. QForm: QForm є програмою для моделювання та оптимізації процесів гарячого формування та ковки металів. Вона дозволяє

прогнозувати поведінку матеріалів при високих температурах, ураховувати теплові процеси, деформацію та розтяжність. QForm надає інструменти для аналізу заповнення форми, розподілу напружень, деформацій та властивостей виробу [18].

Висновки до першого розділу

Через військовий конфлікт в країні, проблема розробки технології виготовлення балістичних обтічників стає критично актуальною. Ця тема знаходить особливе значення у контексті вдосконалення військових артилерійських систем та забезпечення їхньої ефективності в умовах сучасного бойового середовища. Впровадження нових технологій штампування та оснащення для виробництва балістичних обтічників стане важливим етапом у підвищенні аеродинамічних та бойових характеристик снарядів, що є стратегічно важливим для забезпечення національної безпеки.

Важливим аспектом при розробці балістичних обтічників є уважний аналіз їхньої форми та геометрії. Оптимальна форма обтічника грає ключову роль у поліпшенні аеродинамічних характеристик снаряду, сприяючи зменшенню опору повітря та підвищенню стабільності польоту. Геометричні параметри обтічника, такі як кут нахилу, довжина та ширина, визначають його здатність мінімізувати втрати кінетичної енергії та забезпечувати ефективний "поворот" при зіткненні з повітрям. Це не лише підвищує дальність стрільби та точність снаряду, але і сприяє збільшенню пробивної здатності при ударі обтічника об броньовану мішень. Такий підхід до формоутворення балістичних обтічників є ключовим для досягнення оптимальних характеристик у визначених умовах експлуатації.

Не менш важливим є вибір відповідних матеріалів, зокрема сталі, для виготовлення обтічників. Врахування механічних властивостей, стійкості до корозії та термічної обробки грає вирішальну роль у забезпеченні

надійності та тривалості використання обтічників у реальних умовах бойових дій.

Щодо аналізу програм для моделювання, таких як Deform3D, їхня активна роль у віртуальному тестуванні та оптимізації конструкцій сприятиме ефективному впровадженню нових технологій у виробництво.

Загальною тенденцією є те, що розвиток та вдосконалення технологій для виробництва балістичних обтічників стають важливою складовою стратегії збройних сил у забезпеченні високої ефективності та адаптованості до сучасних викликів.

2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ «ОБТІЧНИКА» МЕТОДАМИ ХОЛОДНОГО ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

Щоб виготовити задану деталь виконуються наступні операції:

- контроль вхідного матеріалу;
- різання листа на смуги;
- вирубування заготовки типу «круг»;
- витягування напівфабрикату типу «стакан»:
    - перший перехід витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату;
    - другий перехід витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату;
    - третій перехід витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату.
- багатоопераційне витягування та обтискування багатоступінчатого напівфабрикату:
    - перший перехід багатоопераційного витягування багатоступінчатого напівфабрикату;
    - другий перехід багатоопераційного витягування багатоступінчатого напівфабрикату;
    - рекристалізаційний відпал за температури $T = 600 \dots 650℃$ та охолодженням на повітрі;
    - третій перехід багатоопераційного обтискування багатоступінчатого напівфабрикату;
    - четвертий перехід багатоопераційного обтискування багатоступінчатого напівфабрикату;
    - п’ятий перехід багатоопераційного обтискування багатоступінчатого напівфабрикату
    - рекристалізаційний відпал за температури $T = 600 \dots 650℃$ та охолодженням на повітрі.

- калібрування:
    - калібрування напівфабрикату;
    - отримання кута 10˚.
- обрізування напівфабрикату до заданої висоти.

Допуски на розміри деталі, що не задані приймаємо по 14 квалітету.

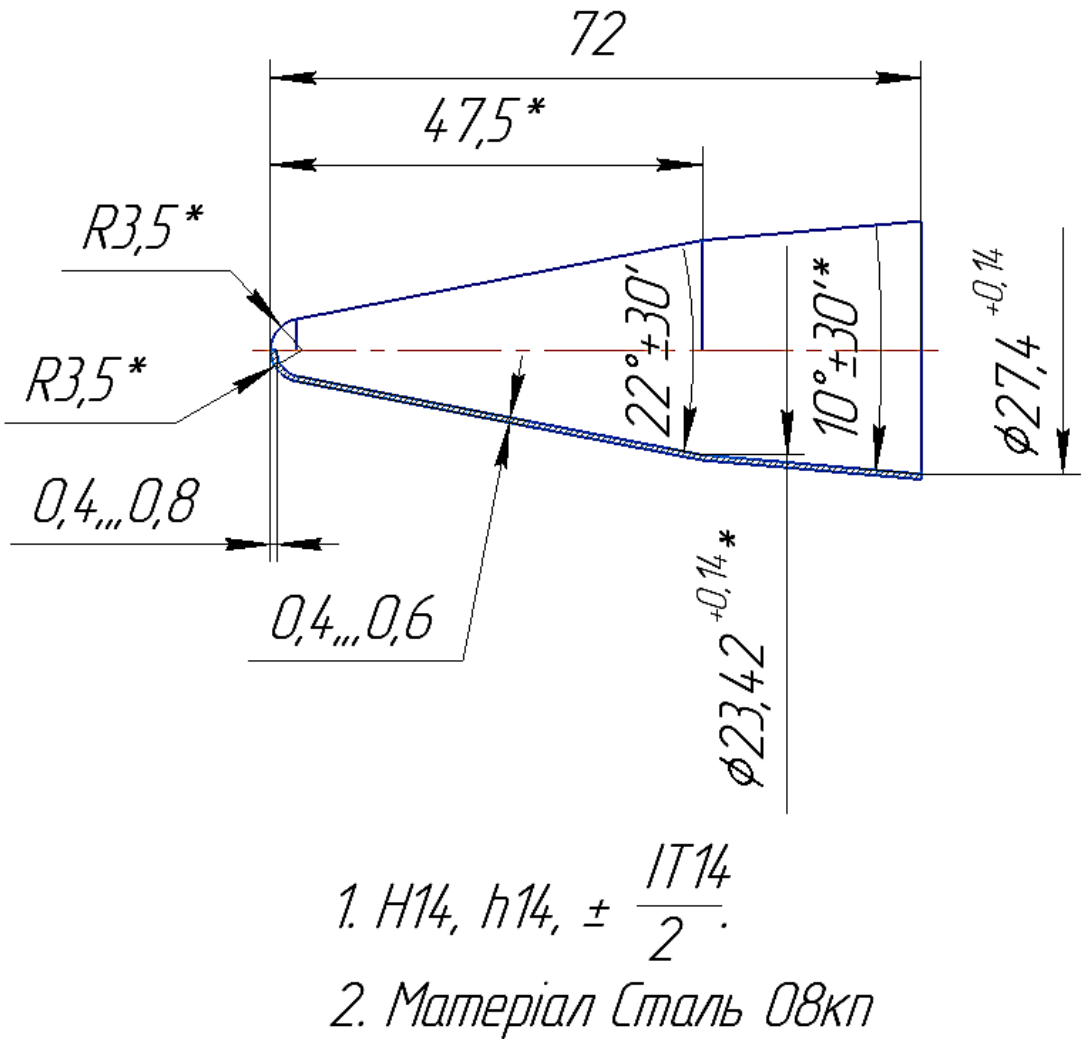


Рис.2.1. Ескіз деталі.

За завданням деталь «Обтічник» має бути виготовлена із тонколистової вуглецевої якісної конструкційної Сталь 08кп ГОСТ 1050-74. Дана сталь має наступні механічні властивості [1, табл.220, ст.507]:

• опір зрізу $\sigma_{зр} = 250$ МПа;

• границя міцності $\sigma_{в} = 300$ МПа;

• відносне подовження $\delta_5 = 35\ \%$.

2.1. Розрахунок вихідної заготовки

Для розрахунку вихідної заготовки спочатку необхідно розрахувати об’єм заданої деталі. Вихідна товщина заготовки $S = 0{,}55$ мм. Визначаємо об’єм за допомогою програми «SolidWorks» (рис.2.2):

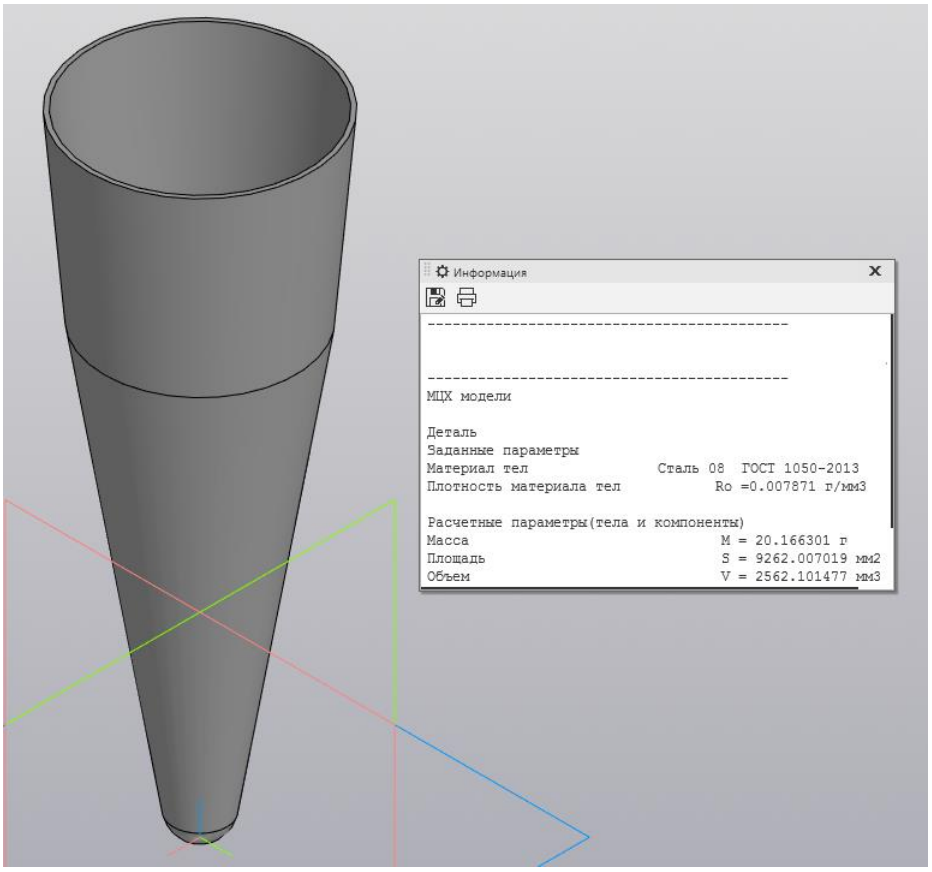


Рис.2.2. Об’єм деталі «Обтічник».

Визначений об’єм складає $V = 2562{,}1$ мм^3. Об’єм «стакана», з якого буде витягуватися «конус» такий самий, як і об’єм плоскої вихідної заготовки.

Напівфабрикат типу «конус» буде виготовлятися по одному куту - 22˚, а потім відбудеться калібрування верхньої частини до кута 10˚ зі збереженням заданої висоти. Тому графічно визначаємо діаметр «конуса» з кутом 22˚, він же – діаметр «стакана» (рис.2.3):

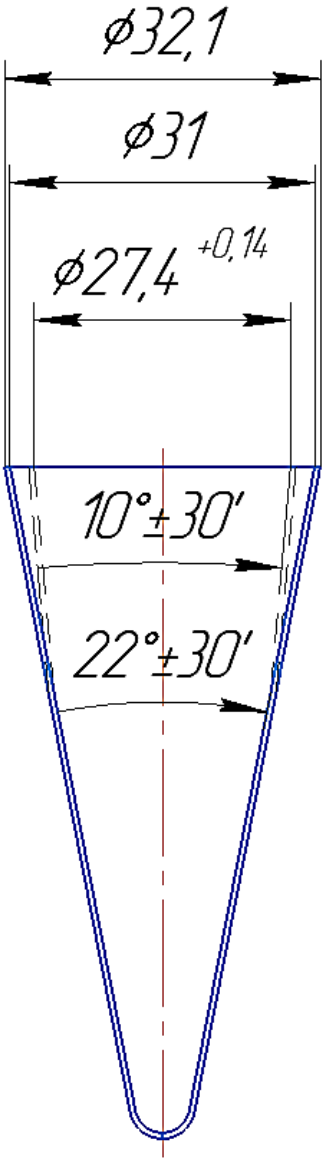


Рис.2.3. Діаметр «конуса» з кутом 22˚.

Знаючи діаметр і об’єм та, враховуючи, що витягування відбувається без потоншення стінки, можемо визначити висоту «стакан» графічним методом (рис.2.4):

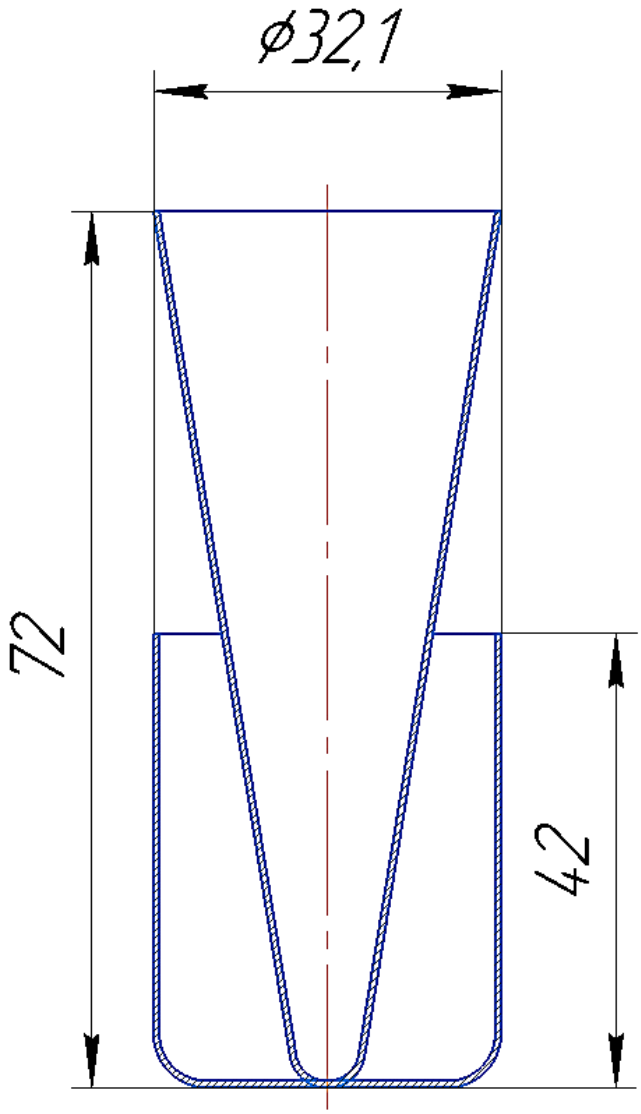


Рис.2.4. Визначення висоти «стакану».

За допомогою програми «SolidWorks», враховуючи рівність об’ємів та діаметрів, визначаємо, що висота «стакану» $h = 42$ мм.

Знаючи висоту «стакану» $h = 42$ мм та товщину стінки $S = 0{,}55$ мм, можемо визначити діаметр вихідної плоскої заготовки. Для цього спочатку необхідно визначити припуск на обрізування для циліндричних деталей без фланцю за [6, с. 99].

Визначаємо сумарний об’єм «стакану»:

$$V_{\text{сум}} = V + V_{\text{п}} = 2562{,}1 + \frac{\pi*(d_{\text{зовн}}{}^2 - d_{\text{внутр}}{}^2)}{4} * h_{\text{п}} = 2562{,}1 + \frac{3{,}14*(32{,}1^2 - 31^2)}{4} * 2{,}5 \cong 2700 \text{ мм}^3 \quad (2.1)$$

де, $V = 2562{,}1$ мм^3 - об'єм «стакану»;

$V_{\text{п}}$ – об'єм припуску по висоті на обрізування;

$d_{\text{зовн}}$ – зовнішній діаметр «стакану» (рис.2.3);

$d_{\text{внутр}}$ – внутрішній діаметр «стакану» (рис.2.3);

$h_{\text{п}}$ – припуск по висоті на обрізування.

Визначаємо діаметр вихідної плоскої заготовки:

$$D_{\text{заг}} = \sqrt{\frac{4V}{\pi S}} = \sqrt{\frac{4*2700}{3{,}14*0{,}55}} = 79{,}1 \text{ мм} \quad (2.2)$$

2.2. Розкрій матеріалу

Розкрій визначається конфігурацією та розмірами як деталі, так і вихідного матеріалу. Деталі слід конструювати так, щоб мінімізувати відходи під час розкрою. В даному випадку передбачається використання гільйотинних ножиць для різання листа на смуги. Обрано «прямий» тип розкрою з відходами, відсутністю бокового притискача та ручною подачею полоси в робочу зону.

Значення перемичок обираємо за [7, ст.7]. Перемички визначаються на основі найбільшого розміру заготовки А та товщиною матеріалу S. Для даної деталі «обтічник» А=$D_{\text{заг}}$ = 79,1 мм , S = 0,55 мм, тоді перемички обираємо:

a = 1,4 мм, b = 1,0 мм

Розраховуємо крок подачі:

$$T = D_{\text{заг}} + b = 79{,}1 + 1{,}0 = 80{,}1 \text{ мм} \quad (2.3)$$

40 мм – ширина деталі (рис.1.8)

Рахуємо ширину смуги, без наявності бокового притискача за [2, ст.14, форм. 4]:

$$B_n = [D_{\text{заг}} + 2(a + \delta) + z_{\text{н}} + \delta']_{-\delta} \quad (2.4)$$

де, $D_{\text{заг}}$ = 79,1 мм – діаметр заготовки.

$z_{\text{н}}$ = 1 мм [7, ст.15, табл.7] – гарантований мінімальний зазор проміж направляючими та смугою металу.

δ'= 0,35 мм [7, ст.15, табл.7] – допуск відстані проміж направляючих планок.

δ = 0.5 мм [7, ст. 13, табл. 5] – допуск ширини смуги металу, яку ріжуть на гільйотинних ножицях

$$B_n = [79{,}1 + 2(1{,}4 + 0{,}5) + 1 + 0{,}35]_{-0{,}5} = 84{,}25_{-0{,}5} \text{ мм}$$

Розкрій покажемо на рис.2.5:

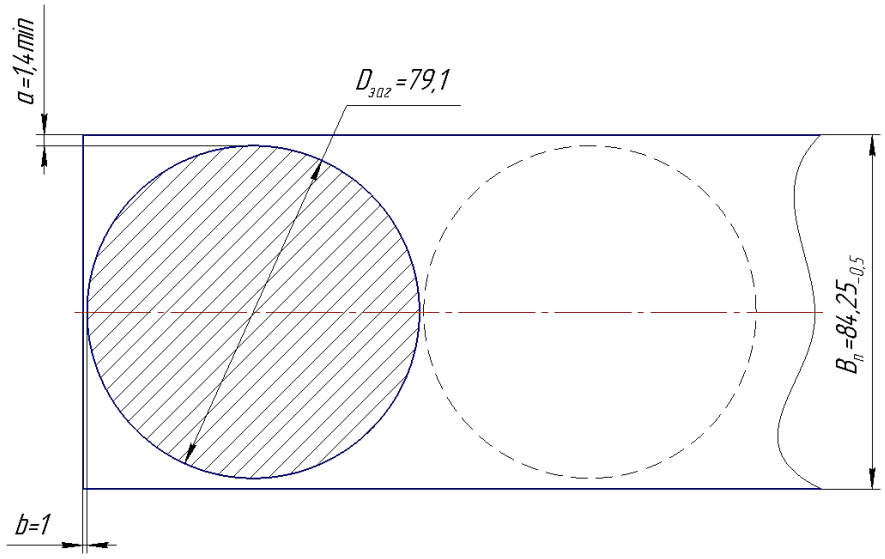


Рис.2.5. Схема розкрою.

Коефіцієнт розкрою будемо визначати за [20, ст.26, форм. 4.10]:

$$K_p = \frac{f_{зг} n_p}{B \cdot T_p} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

де, $f_{зг}$ = 4914,1 мм^2 (див. рис 2.6) – визначена площа поверхні розрахованої заготовки;

n_p = 1 - кількість рядів розкрою;

B = 84,25 мм - ширина смуги;

T_p= 80,1 мм - крок вирубування (подачі).

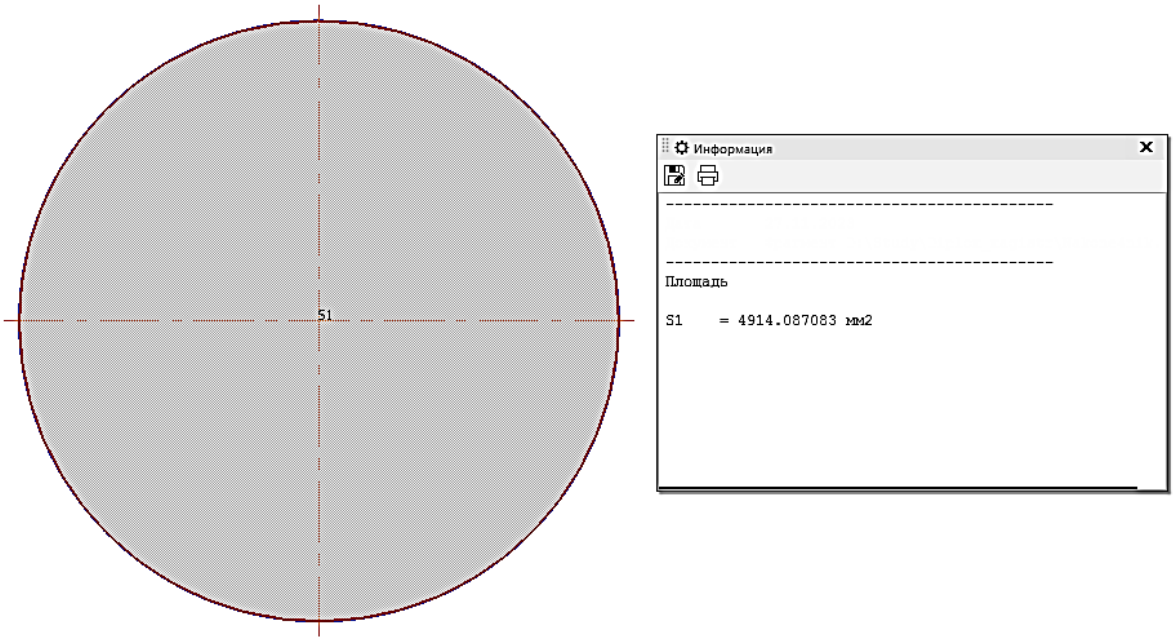


Рис.2.6. Площа заготовки.

$$K_p = \frac{4914{,}1 * 1}{84{,}25 * 80{,}1} \cdot 100\% = 72{,}8\ \%$$

Тепер визначаємо кількість заготовок, що можна отримати з листа при різних варіантах розкрою. Як вихідну заготовку обираємо лист металу 2000×1000 мм (ГОСТ 19904-90). Можливі два варіанти розкрою: поперек і уздовж листа:

Вздовж листа:

Кількість смуг з листа:

$$n_{\text{см}} = \frac{B_{\text{л}}}{B_{\text{см}}}\ , \qquad (2.6)$$

де $b_л$ – ширина обраного листа, мм, $B_л = 1000$ мм;

$b_{см}$ – ширина обраної смуги, мм, $B_{см} = 84{,}25$ мм.

$$n_{см} = \frac{1000}{84{,}25} = 11{,}87 \text{ шт}$$

Кількість заготовок в смузі:

$$n_{дет.см} = \frac{l_л - a}{T}, \quad (2.7)$$

де $l_л$ – довжина обраного листа, мм, $l_л = 2000$ мм;

$$n_{дет.см} = \frac{2000 - 1{,}4}{80{,}1} = 24{,}95 \text{ шт}$$

Загальна кількість заготовок:

$$n_{дет} = n_{дет.см} \cdot n_{см}, \quad (2.8)$$

$$n_{дет} = 11 * 24 = 264 \text{шт}$$

Поперек листа:

Кількість смуг з листа:

$$n_{см} = \frac{b_л}{b_{см}}, \quad (2.9)$$

де $b_л$ – ширина листа, мм, $b_л = 2000$ мм;

$b_{см}$ – ширина смуги, мм, $b_{см} = 84{,}25$ мм.

$$n_{см} = \frac{2000}{84{,}25} = 23{,}74 \text{ шт}$$

Кількість заготовок в смузі:

$$n_{\text{дет.см}} = \frac{l_л - a}{T}, \quad (2.10)$$

де, $l_л$ – довжина листа, мм, $l_л = 1000$ мм;

$$n_{\text{дет.см}} = \frac{1000 - 1{,}4}{80{,}1} = 12{,}46 \text{ шт}$$

Загальна кількість заготовок:

$$n_{\text{дет}} = n_{\text{дет.см}} \cdot n_{\text{см}}, \quad (2.11)$$

$$n_{\text{дет}} = 23 \cdot 12 = 276 \text{ шт}$$

Кількість заготовок в залежності від способу різання листа на смуги занесено до табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Кількість отримуваних заготовок в залежності від варіанту різання смуги

Розмір листа, мм	Варіант розкрою	Кількість, шт		
		Смуг із листа	Заготовок із смуги	Заготовок із листа
2000×1000	Вздовж	11	24	264
	Поперек	23	12	276

Обираємо розкрій поперек листа.

Розрахуємо за наступною формулою коефіцієнт використання матеріалу за різання листа металу на смуги для ідентичних заготовок [20, ст.26, формула 4.12]:

$$K_в = \frac{f_{заг} \cdot m}{B_л \cdot L_л} \cdot 100\%, \quad (2.12)$$

де, $f_{заг}$ = 4914,1 мм^2- площа поверхні заготовки (див. рис. 2.6)

m = 276 - кількість заготовок, що можливо отримати з листа;

$B_л$ = 1000 мм - ширина листа металу;

$L_л$ = 2000 мм - довжина листа металу.

$$K_в = \frac{4914{,}1 \cdot 276}{1000 * 2000} \cdot 100\% = 67{,}8\ \%$$

2.3. Розрахунок кількості переходів напівфабрикату «стакан»

Розрахунок переходів проводимо користуючись формулою для визначення коефіцієнта витягування [6, с. 118]:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \tag{2.13}$$

де, m_n – n-ий перехід витягування;

d_n – діаметр на переході;

d_{n-1} – діаметр заготовки (попереднього переходу).

За таблицею з [6, 118] визначаємо перший коефіцієнт витягування m_1, m_2, m_3 та порівнюємо з розрахунковим m_{np}.

Відносна товщина заготовки:

$$\left(\frac{S}{D_{заг}}\right) * 100\% = \frac{0{,}55}{79{,}1} * 100\% = 0{,}69 \tag{2.14}$$

Тоді:

$$m_1 = 0{,}55$$

$$m_2 = 0{,}75$$

$$m_3 = 0{,}77$$

Розраховуємо $m_{1р}$ і порівнюємо з m_1:

$$m_{1р} = \frac{d_{сер}}{D_{заг}} = \frac{31{,}55}{79{,}1} \approx 0{,}40 \tag{2.15}$$

де, $d_{сер} = d_{зовн} - S = 32{,}1 - 0{,}55 = 31{,}55$ мм – середній діаметр «стакану» з (рис.2.3).

Як бачимо,

$$m_{1\text{р}} = 0{,}4 \leq m_1 = 0{,}55 \tag{2.16}$$

а отже розраховуємо $d_{1\text{сер}}$ для визначення наступного переходу:

$$d_{1\text{сер}} = D_{\text{заг}} * m_1 = 79{,}1 * 0{,}55 = 43{,}5 \text{ мм} \tag{2.17}$$

Визначаємо наступний перехід $m_{2\text{р}}$ і порівнюємо з m_2:

$$m_{2\text{р}} = \frac{d_{\text{сер}}}{d_{1\text{сер}}} = \frac{31{,}55}{43{,}5} = 0{,}725 \tag{2.18}$$

Як бачимо,

$$m_{2\text{р}} = 0{,}725 \leq m_2 = 0{,}75 \tag{2.19}$$

а отже розраховуємо $d_{2\text{сер}}$ для визначення наступного переходу:

$$d_{2\text{сер}} = d_{1\text{сер}} * m_2 = 43{,}5 * 0{,}75 \approx 32{,}63 \text{ мм} \tag{2.20}$$

Визначаємо наступний перехід $m_{3\text{р}}$ і порівнюємо з m_3:

$$m_{3\text{р}} = \frac{d_{\text{сер}}}{d_{2\text{сер}}} = \frac{31{,}55}{32{,}63} = 0{,}97 \tag{2.21}$$

Як бачимо,

$$m_{3\text{р}} = 0{,}97 \geq m_3 = 0{,}77 \tag{2.22}$$

а отже операція витягування «стакану» буде мати 3 переходи витягування без потоншення.

Визначимо необхідність притискача, використовуючи формули з [7, с. 243].

Розрахуємо необхідність використання притискача на першому переході:

$$D_{\text{заг}} - d_1 = 79{,}1 - 44{,}05 = 35{,}05 > 22 * 0{,}55 = 12{,}1 \tag{2.23}$$

де, $d_1 = d_{1\text{сер}} + S = 43{,}5 + 0{,}55 = 44{,}05$ мм – зовнішній діаметр заготовки після першого переходу витягування.

Розрахуємо необхідність використання притискача на другому та третьому переходах:

$$\frac{100S}{d_2} = \frac{100*0{,}55}{33{,}18} = 1{,}66 > 1{,}5 \quad (2.24)$$

$$\frac{100S}{d_3} = \frac{100*0{,}55}{32{,}1} = 1{,}71 > 1{,}5 \quad (2.24)$$

де, $d_2 = d_{2\text{сер}} + S = 32{,}63 + 0{,}55 = 33{,}18$ мм – зовнішній діаметр заготовки після другого переходу витягування.

$d_3 = 32{,}1$ мм – зовнішній діаметр готового напівфабрикату (рис.2.3).

Попередньо розрахуємо радіуси пунсонів на переходах за [7, с. 249]

$$r_{\text{п1}} = \frac{d_1 - d_2}{2} = \frac{44{,}05 - 33{,}18}{2} = 5{,}4 \text{ мм} \quad (2.25)$$

Радіуси пуансонів $r_{\text{п2}}$та $r_{\text{п3}}$ приймаємо 4,4 мм, виходячи з умови для конічного витягування $r_{\text{п}} = 8S = 8 * 0{,}55 = 4{,}4$ мм за [8, с. 181]

Радіус матриці на усіх трьох переходах за [7, с. 291]

$$r_{\text{м}} = (6 \dots 10)S \quad (2.26)$$

Приймаємо радіус матриці $r_{\text{м}} = 5$ мм. За [19, с. 143] обираємо конусно-тороідальну форму матриці.

Зазор обираємо за [7, с. 287]: на першій операції $z_1 = 0{,}56$ мм (проводимо калібрування напівфабрикату по товщині), $z_2 = 0{,}65$ мм, $z_3 = 0{,}65$ мм.

2.4. Результати моделювання напівфабрикату «стакан»

Моделювання напівфабрикату «стакан» за схемою витягування без потоншення циліндричної заготовки без фланцю проводилося у програмі «Deform2D/3D».

Схема першого переходу витягування показана на рис.2.7. Вихідна заготовка (1) укладається між матрицею (2) та притискачем (4) та деформується під дією пуансона (3).

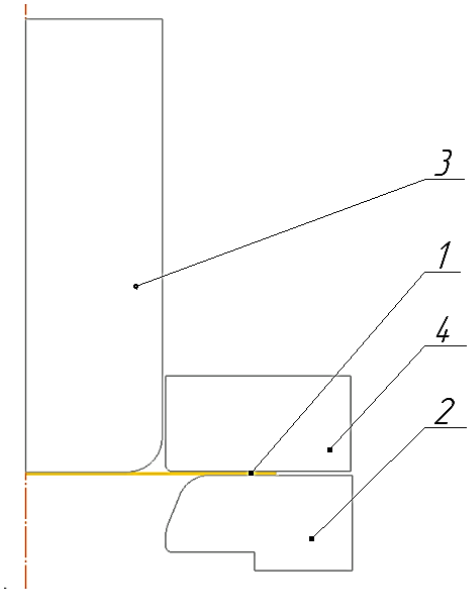


Рис.2.7. Схема першого переходу витягування напівфабрикату «стакан»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон; 4 – притискач.

Заготовка виготовляється зі сталі 08кп, має форму круга з товщиною $S = 0{,}55$ мм та діаметром $D_{заг} = 79{,}1$ мм (рис. 2.8).

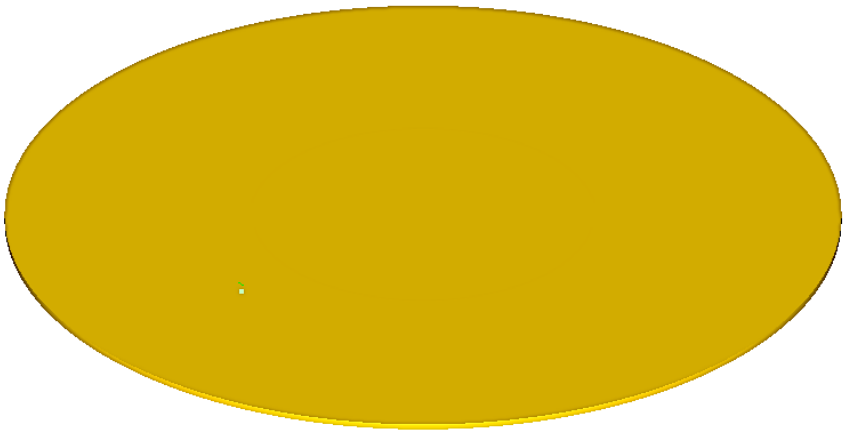
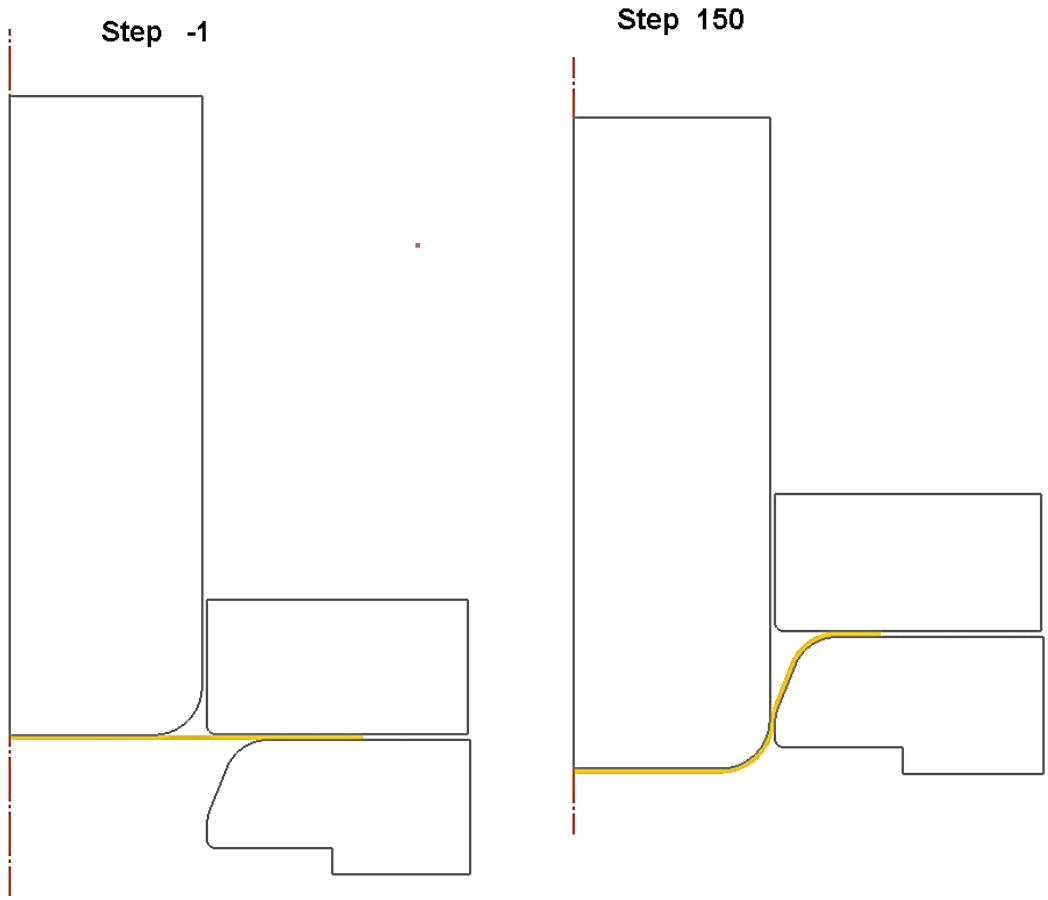


Рис.2.8. Вихідна заготовка.

Технологічні параметри, що були використані для моделювання процесу холодного витягування без потоншення:

- Матеріал – AISI–1008, COLD [70F(20C)] – замінник сталі 08кп в програмі «Deform 2D/3D» з максимально схожими механічними характеристикам;
- Температура заготовки $T = 20°C$;
- Коефіцієнт тертя по Кулону $\mu = 0{,}12$;
- Швидкість переміщення робочого інструменту (пуансону) $V_{п} = 10$ мм/с;
- Крок моделювання – 0,1 мм/крок.

На рис.2.9 показано стадії моделювання першого переходу витягування.



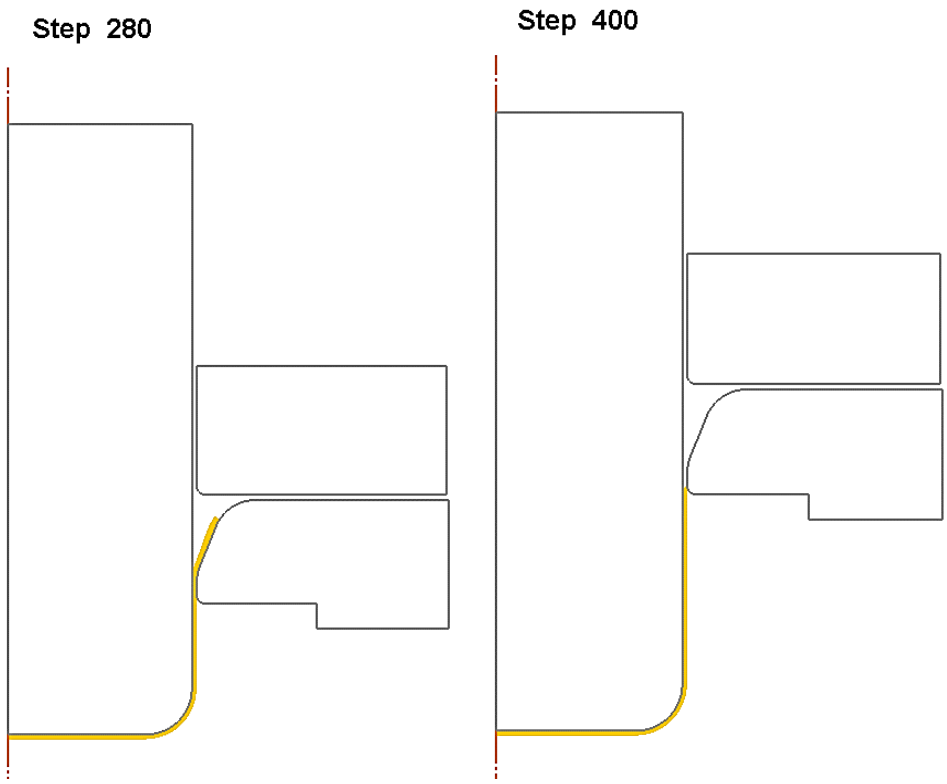
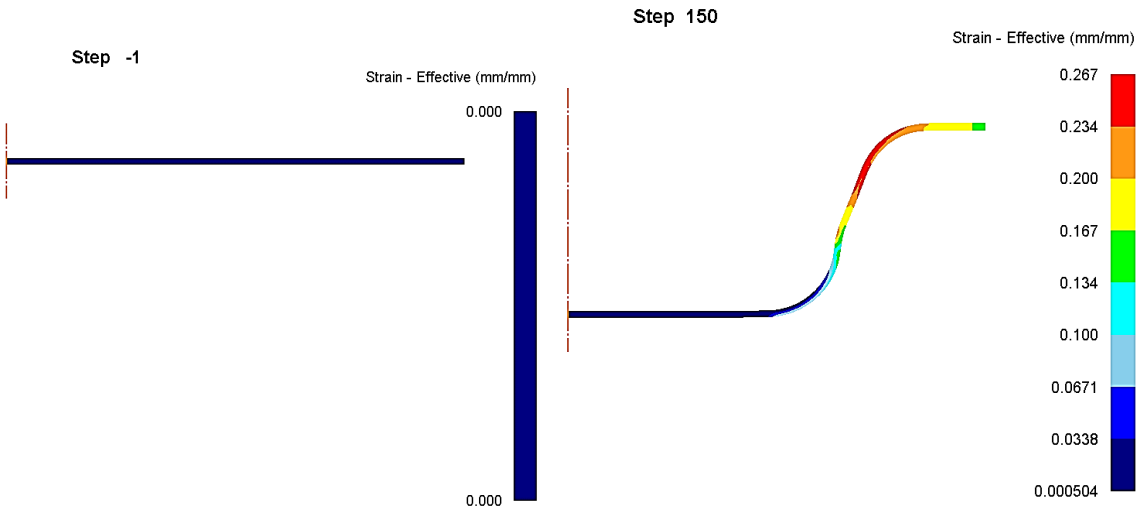


Рис.2.9. Стадії першого переходу витягування напівфабрикату «стакан».

Інтенсивність деформації процесу витягування на стадіях показано на рис.2.10. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація буде виникати саме у стінці напівфабрикату, тож найбільшу зміну по товщині маємо спостерігати саме там. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}993 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.



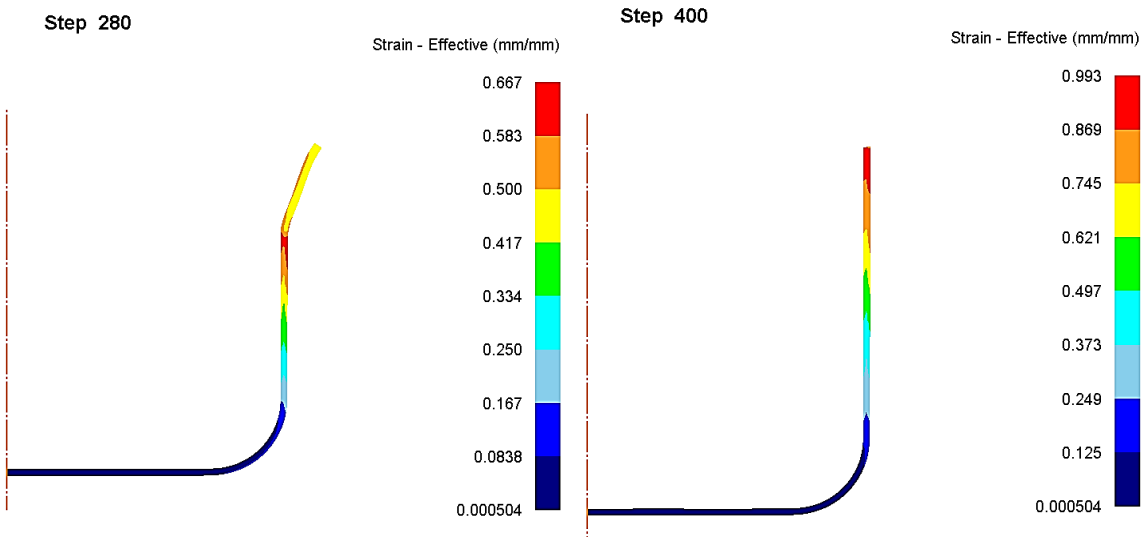


Рис.2.10. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях першого переходу операції витягування.

Для оцінювання руйнування заготовки в процесі витягування важко переоцінити значення критерію руйнування. Згідно з [21] при моделюванні процесу витягування він протікає без руйнування, коли значення обраного критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham не перевищує допустиме значення 0,5-0,55. Якщо отримані значення є більшими за ці, то вірогідність руйнування помітно зростає [21].

На рис.2.11 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях першого переходу витягування без потоншення. Як бачимо, найбільша вірогідність руйнування має місце саме у стінці «стакану», де і проходять найбільші деформації. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,257, що є прийнятним, опираючись на [21].

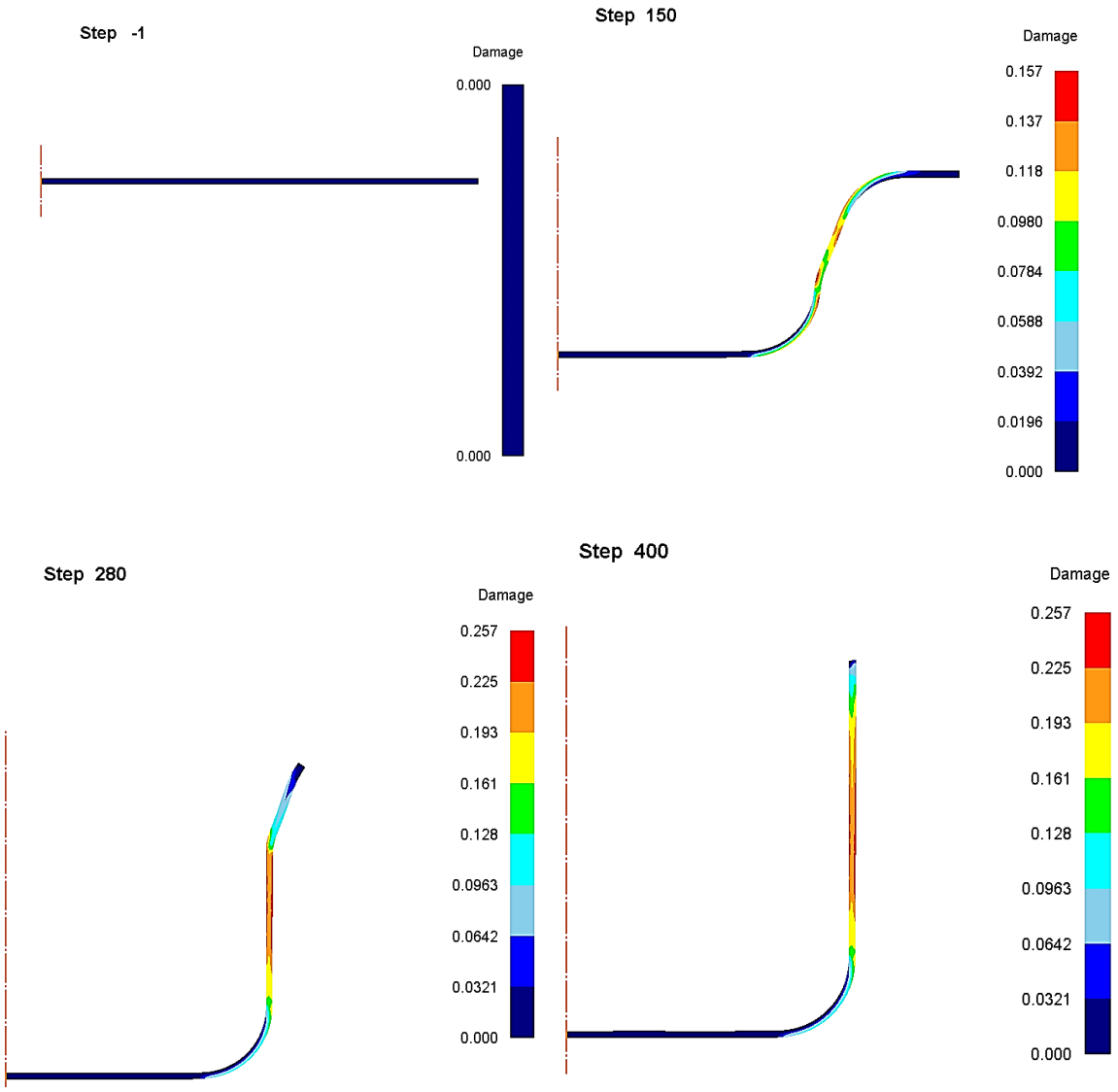


Рис.2.11. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях першого переходу витягування без потоншення.

На рис.2.12 показано графіки залежності зусилля від переміщення. Як бачимо з графіку, зусилля досягає максимуму в 30 кН, при проходженні пуансоном 36,5 мм (рис.2.16), коли формування стінки підходить до завершальної стадії.

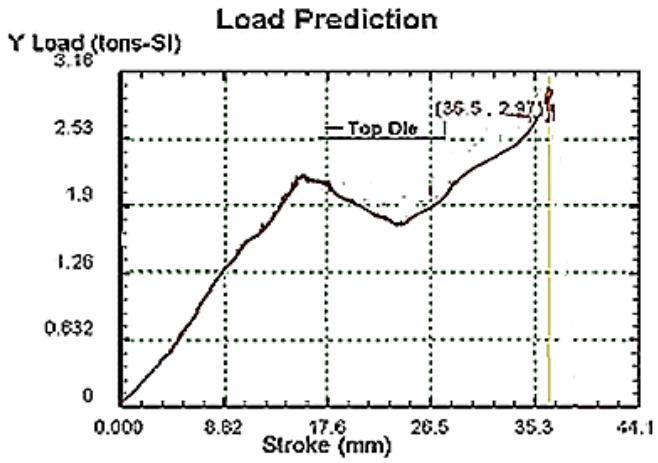


Рис.2.12. Графік залежності зусилля від переміщення на першому переході витягування без потоншення.

Схема другого переходу витягування показана на рис.2.13. Вихідна заготовка (1) укладається на матрицю (2) і деформується під дією пуансона (3).

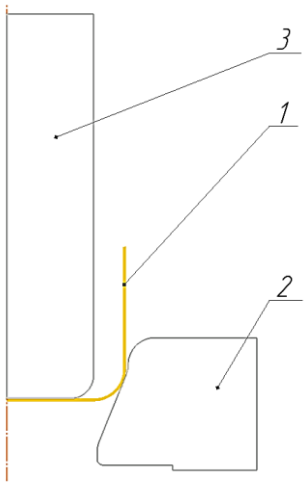


Рис.2.13. Схема другого переходу витягування напівфабрикату «стакан»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.14 показано проміжні стадії моделювання другого переходу витягування.

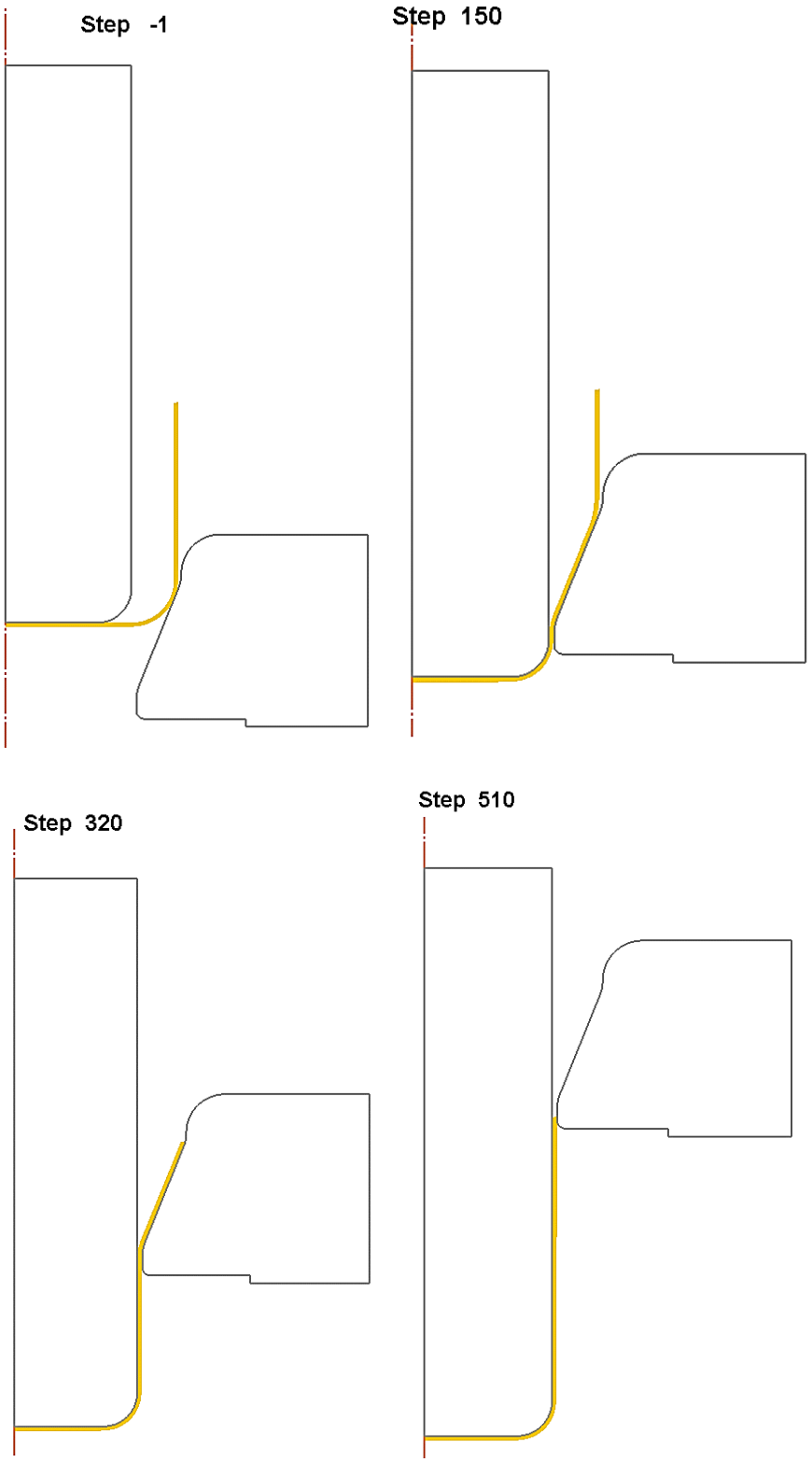


Рис.2.14. Стадії другого переходу витягування напівфабрикату «стакан».

Інтенсивність деформації процесу витягування на стадіях показано на рис. 2.15. Як і в попередньому переході, найбільша інтенсивність деформації виникає у стінці заготовки, тож найбільшу зміну по товщині

будемо спостерігати саме там. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 1{,}31 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

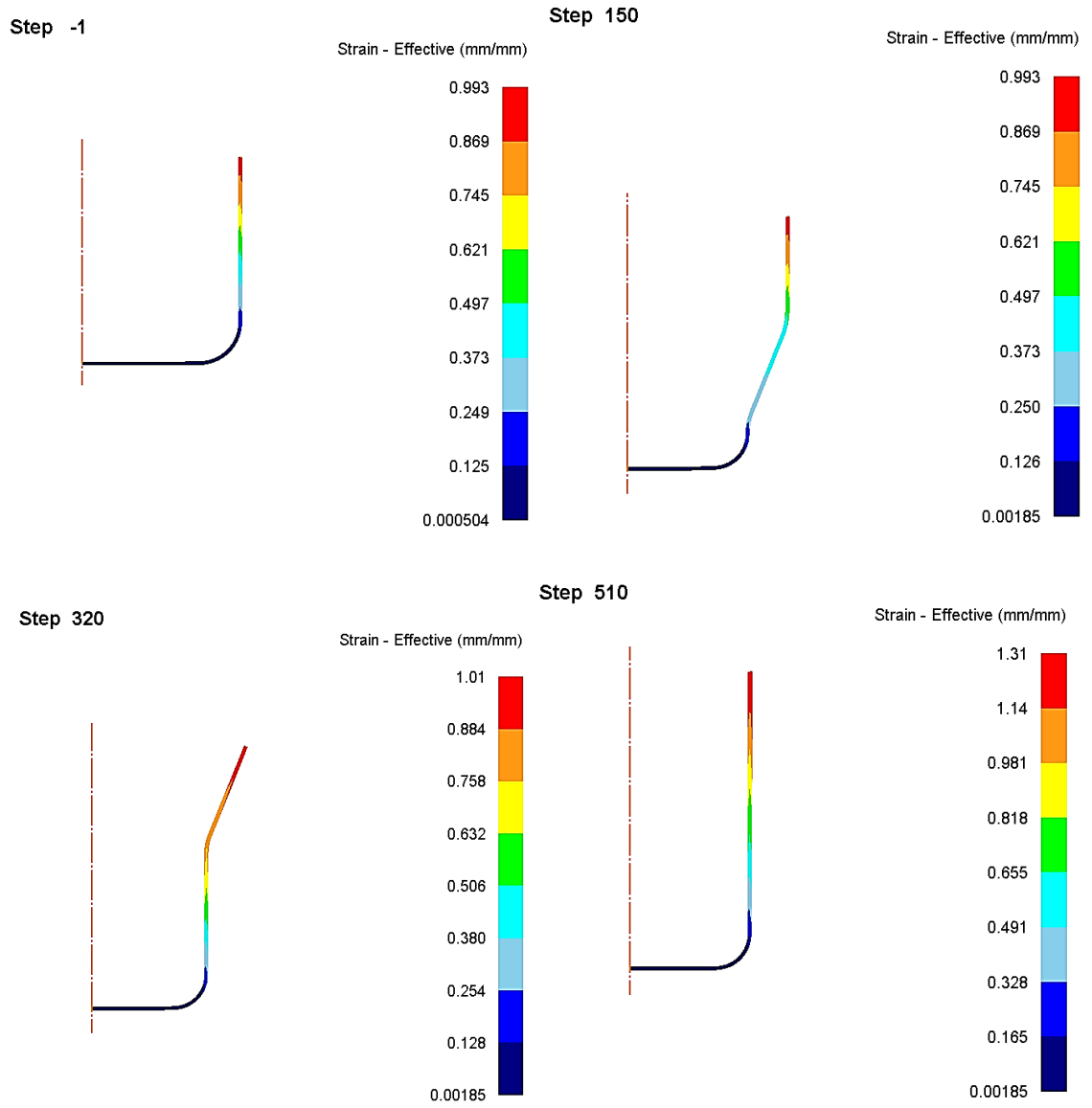


Рис.2.15. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях другого переходу операції витягування.

На рис.2.16 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях другого переходу витягування без потоншення. Як і в попередньому переході, найбільша вірогідність руйнування присутня у стінці напівфабрикату, де і проходять найбільші деформації. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,410, що є прийнятним.

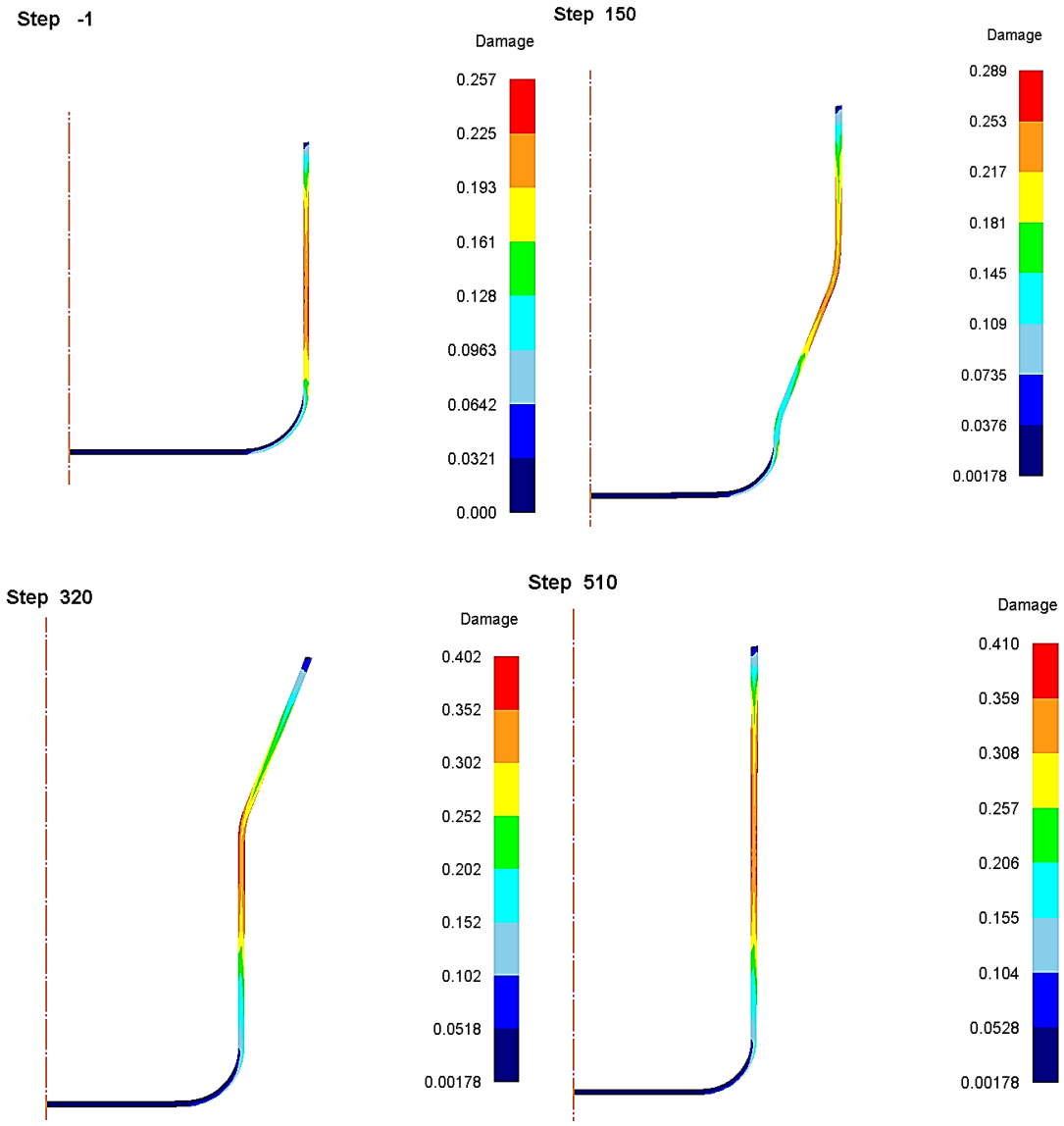


Рис.2.16. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях другого переходу витягування без потоншення.

На рис.2.17 показано графік залежності зусилля від переміщення на другому переході витягування без потоншення. Як бачимо з графіку, зусилля досягає максимуму в 16,5 кН, при проходженні пуансоном 33,5 мм, зумовленого завершенням формування у заготовки стінки.

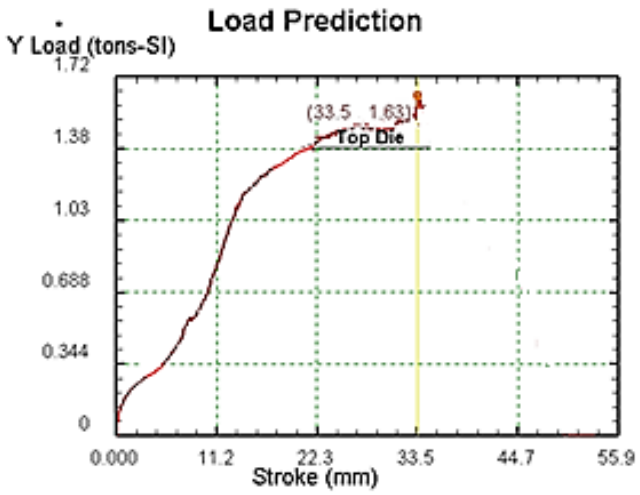


Рис.2.17. Графік залежності зусилля від переміщення на другому переході витягування без потоншення.

Схема останнього (третього) переходу витягування показана на рис.2.18. Вихідна заготовка (1) укладається на матрицю (2) і деформується під дією пуансона (3).

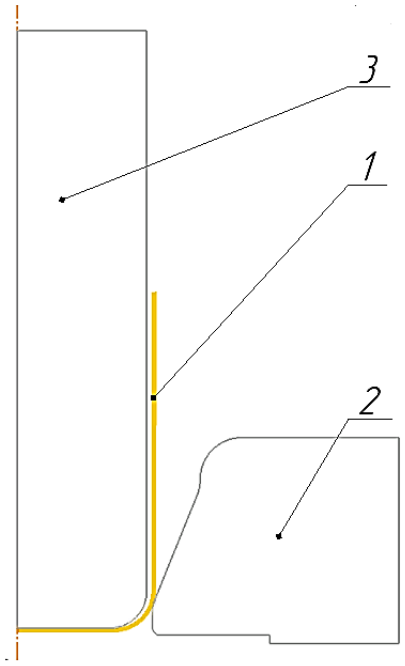


Рис.2.18. Схема останнього переходу витягування напівфабрикату «стакан»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.19 показано стадії моделювання останнього переходу витягування.

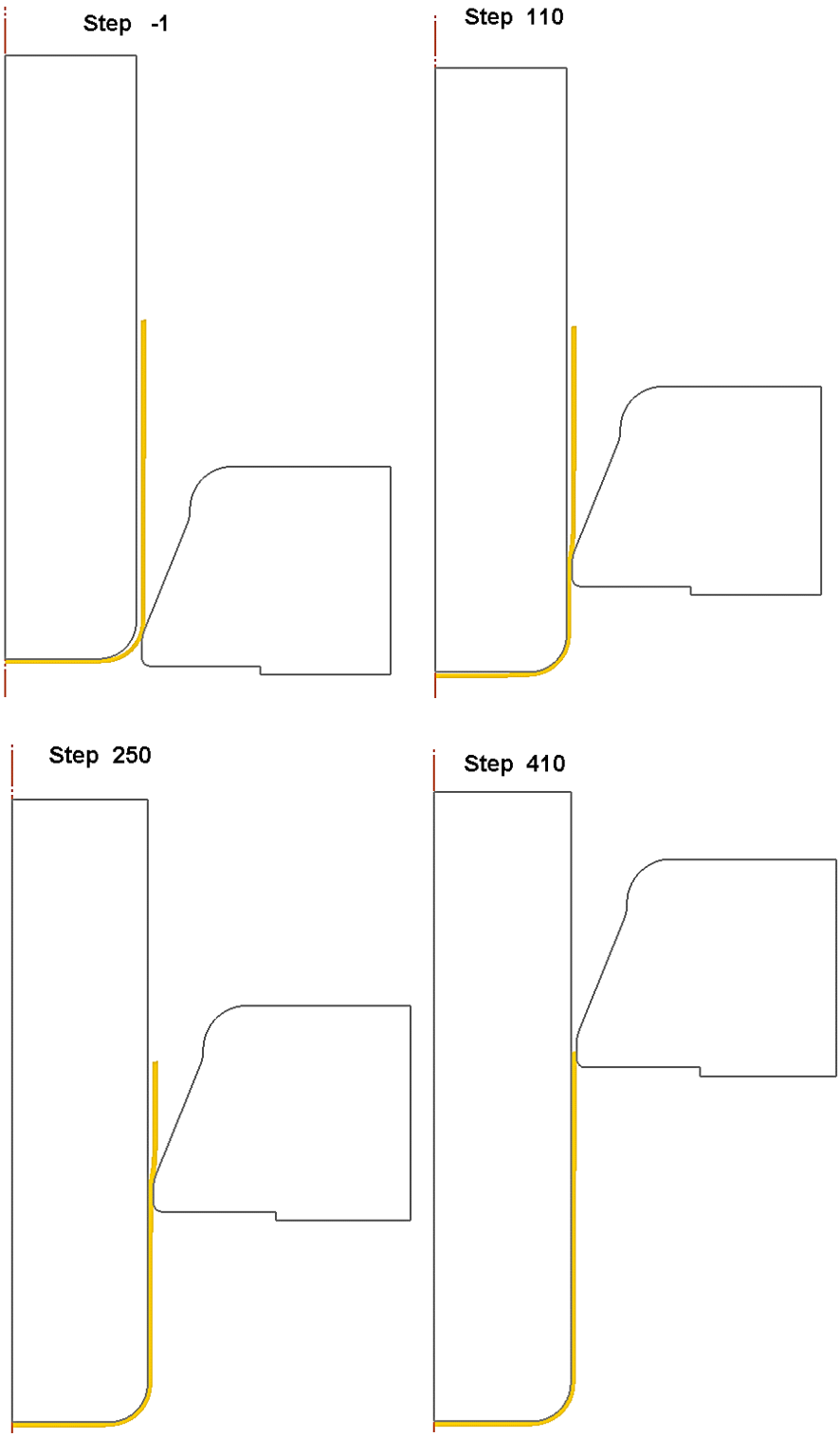


Рис.2.19. Стадії останнього переходу витягування напівфабрикату «стакан».

Інтенсивність деформації процесу витягування на стадіях показано на рис. 2.20. Як і в попередньому переході, найбільша інтенсивність деформації виникає у стінці заготовки, тож найбільшу зміну по товщині

будемо спостерігати саме там. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 1{,}39 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

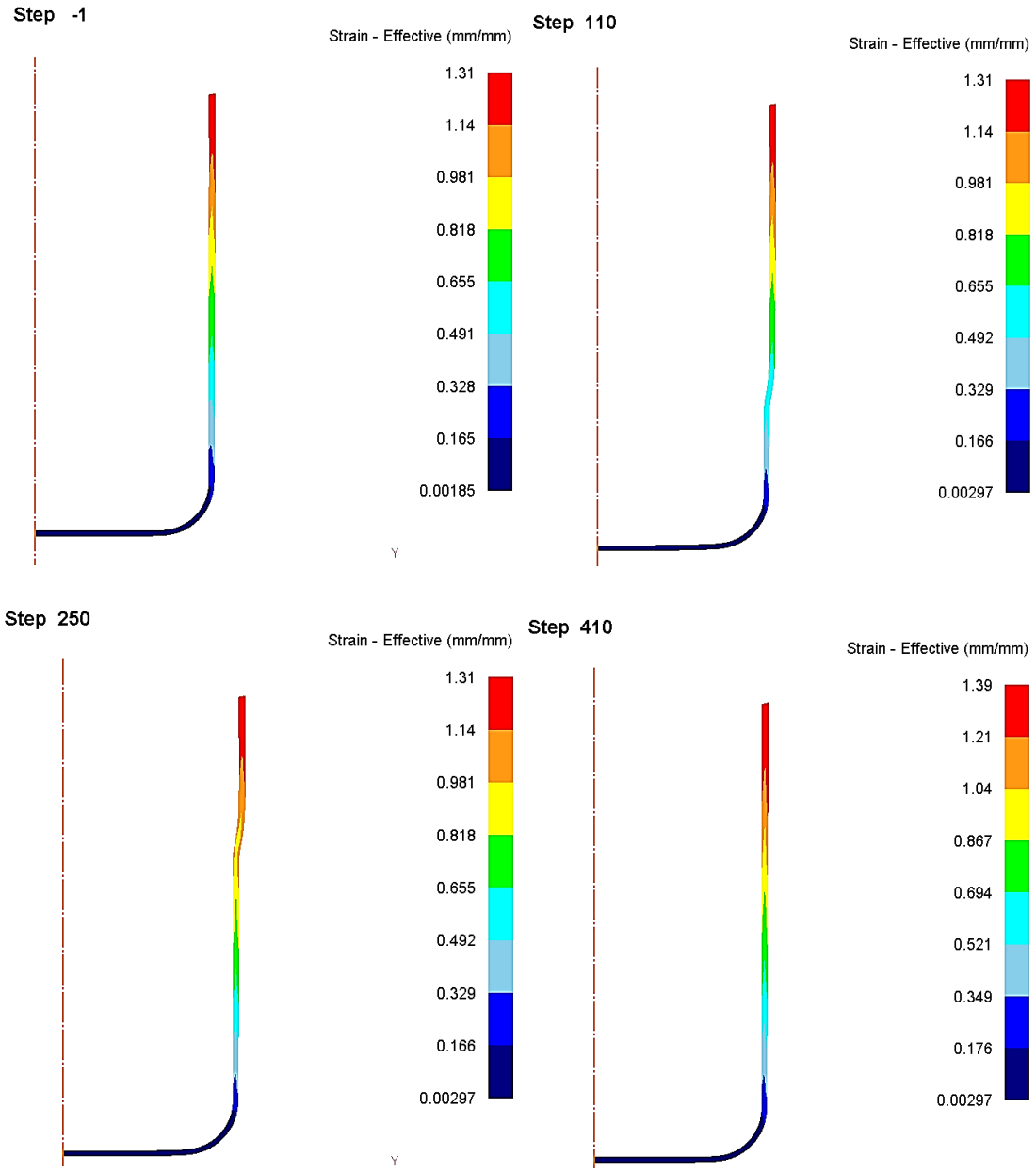


Рис.2.20. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях останнього переходу операції витягування.

На рис.2.21 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях останнього переходу витягування без потоншення. На даному переході також найбільша вірогідність руйнування присутня у стінці напівфабрикату, де і спостерігалася найбільша

інтенсивність деформації. Максимальне значення критерію руйнування на останньому переході – 0,410, що є прийнятним.

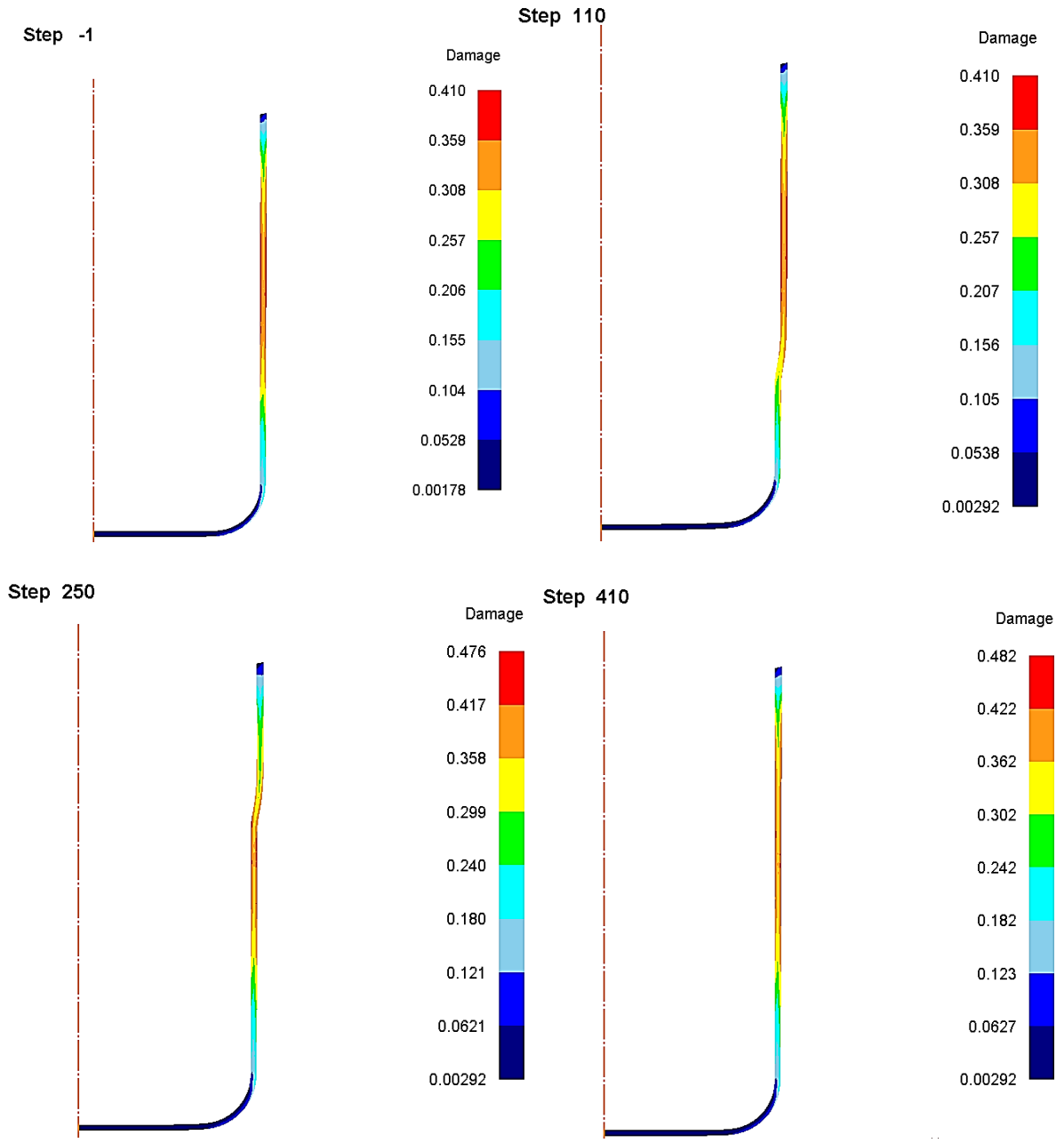


Рис.2.21. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях останнього переходу витягування без потоншення.

На рис.2.22 показано графік залежності зусилля від переміщення на останньому переході витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату. Як бачимо з показаного графіку, зусилля досягає

максимуму в 6,5 кН, при проходженні пуансоном 36,5 мм, зумовленого завершенням формування у заготовки стінки.

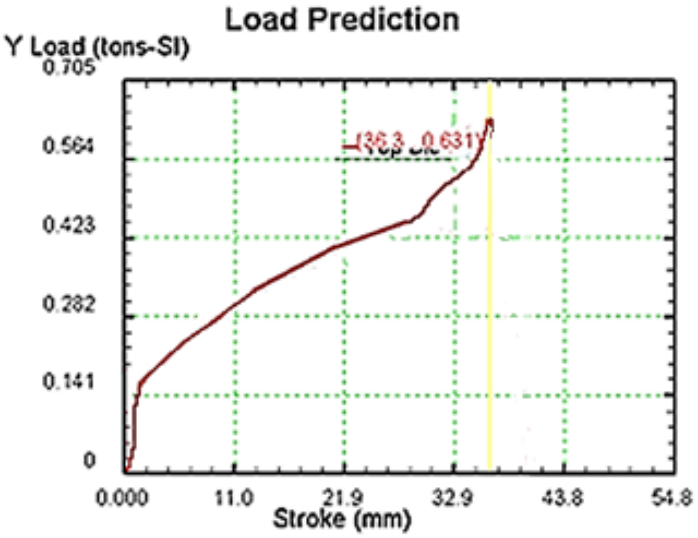


Рис.2.22. Графік залежності зусилля від переміщення на останньому переході витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату.

Готовий напівфабрикат «стакан» показано на рис.2.23:

Рис.2.23. Отриманий напівфабрикат «стакан» у розрізі 270°

Головним параметром якості деталі є відповідність отриманих розмірів до заданих із врахуванням на них допуску. Напівфабрикат з отриманими після моделювання розмірами показано на рис.2.24.

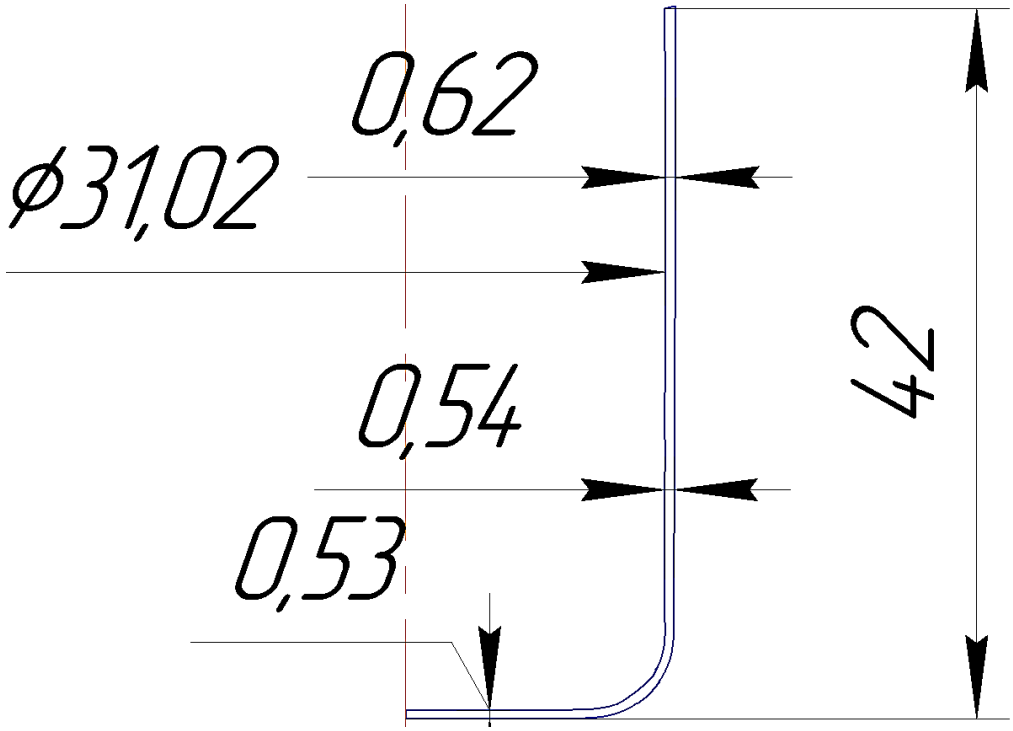


Рис.2.24. Отримані розміри після моделювання напівфабрикату «стакан»

Як бачимо, товщина (рис.2.1), внутрішній діаметр (рис.2.3) та висота «стакану» (рис.2.4) знаходяться у межах поля допуску.

2.5. Результати моделювання витягування деталі «Обтічник» методом поступового збільшення висоти конуса

Метод поступового збільшення висоти конуса (рис.1.8, п.1.4) базується на тому, що спочатку витягується циліндрична заготовка типу «стакан», поверхня якої дорівнює поверхні готової деталі, а діаметр – найбільшому діаметру конуса. [8, с. 182]. На наступних операціях виконується конічна витяжка заготовки, висота якої поступово збільшується до висоти готової деталі.

Діаметри дна конічного витягування визначаються за [8, табл. 66]. Коефіцієнти конічного витягування для даної заготовки складають:

$$m_1 = 0{,}6$$

$$m_2 = 0{,}72$$

$$m_3 = 0{,}74$$

$$m_4 = 0{,}77$$

$$m_5 = 0{,}78$$

Тоді діаметри дна конічного витягування:

$$d_{1\text{сер}} = d_{\text{сер}} * m_1 = 31{,}55 * 0{,}6 = 18{,}93 \text{ мм} \quad (2.27)$$

$$d_{2\text{сер}} = d_{1\text{сер}} * m_2 = 18{,}93 * 0{,}72 = 13{,}63 \text{ мм} \quad (2.28)$$

$$d_{3\text{сер}} = d_{2\text{сер}} * m_3 = 13{,}63 * 0{,}74 = 10{,}08 \text{ мм} \quad (2.29)$$

$$d_{4\text{сер}} = d_{3\text{сер}} * m_4 = 10{,}08 * 0{,}77 = 7{,}76 \text{ мм} \quad (2.30)$$

Тоді,

$$m_5 = \frac{d_{5\text{сер}}}{d_{4\text{сер}}} = \frac{6{,}45}{7{,}76} = 0{,}83 \quad (2.31)$$

де,

$d_{5\text{сер}} = 2r + S = 2 * 2{,}95 + 0{,}55 = 6{,}45$ мм – середній діаметр «обтічника» біля дна (рис.2.1).

Радіус сполучення дна зі стінкою приймаємо за [8, с. 182]:

$$r = 8S = 8 * 0{,}55 = 4{,}4 \text{ мм} \quad (2.32)$$

У процесі витягування сталь піддається зміцненню та наклепу, що супроводжується підвищенням опору деформуванню. Оскільки при витягуванні «стакану» критерій руйнування досяг майже критичного значення, то прийнято рішення провести рекристалізаційний відпал за температури $T = 600 \ldots 650℃$ та охолодженням на повітрі [6, с. 189-191]

Схема першого переходу конічного витягування показана на рис.2.25. Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

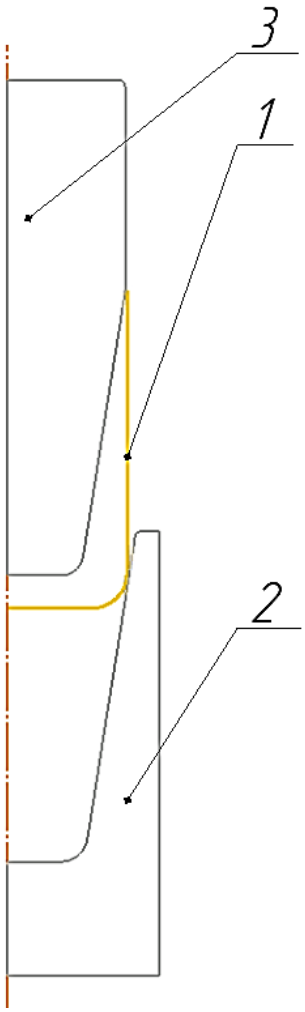


Рис.2.25. Схема першого переходу конічного витягування деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

Технологічні параметри, що були використані для моделювання процесу холодного витягування без потоншення:

- Матеріал – AISI–1008, COLD [70F(20C)] – замінник сталі 08кп в програмі «Deform 2D/3D» з максимально схожими механічними характеристикам;
- Температура заготовки $T = 20°C$;
- Коефіцієнт тертя по Кулону $\mu = 0{,}12$;

• Швидкість переміщення робочого інструменту (пуансону) $V_{\text{п}} = 10$ мм/с;

• Крок моделювання – 0,1 мм/крок.

На рис.2.26 показано стадії моделювання першого переходу конічного витягування.

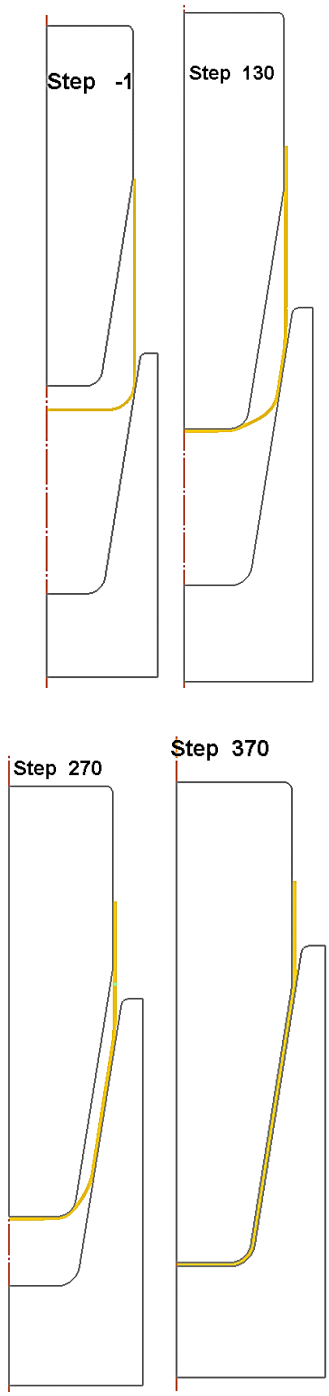


Рис.2.26. Стадії першого переходу конічного витягування «Обтічника».

Інтенсивність деформації процесу витягування на стадіях показано на рис.2.27. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація буде виникати саме у стінці напівфабрикату та у місці сполучення стінки та дна, тож найбільшу зміну по товщині маємо спостерігати саме там. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}513 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

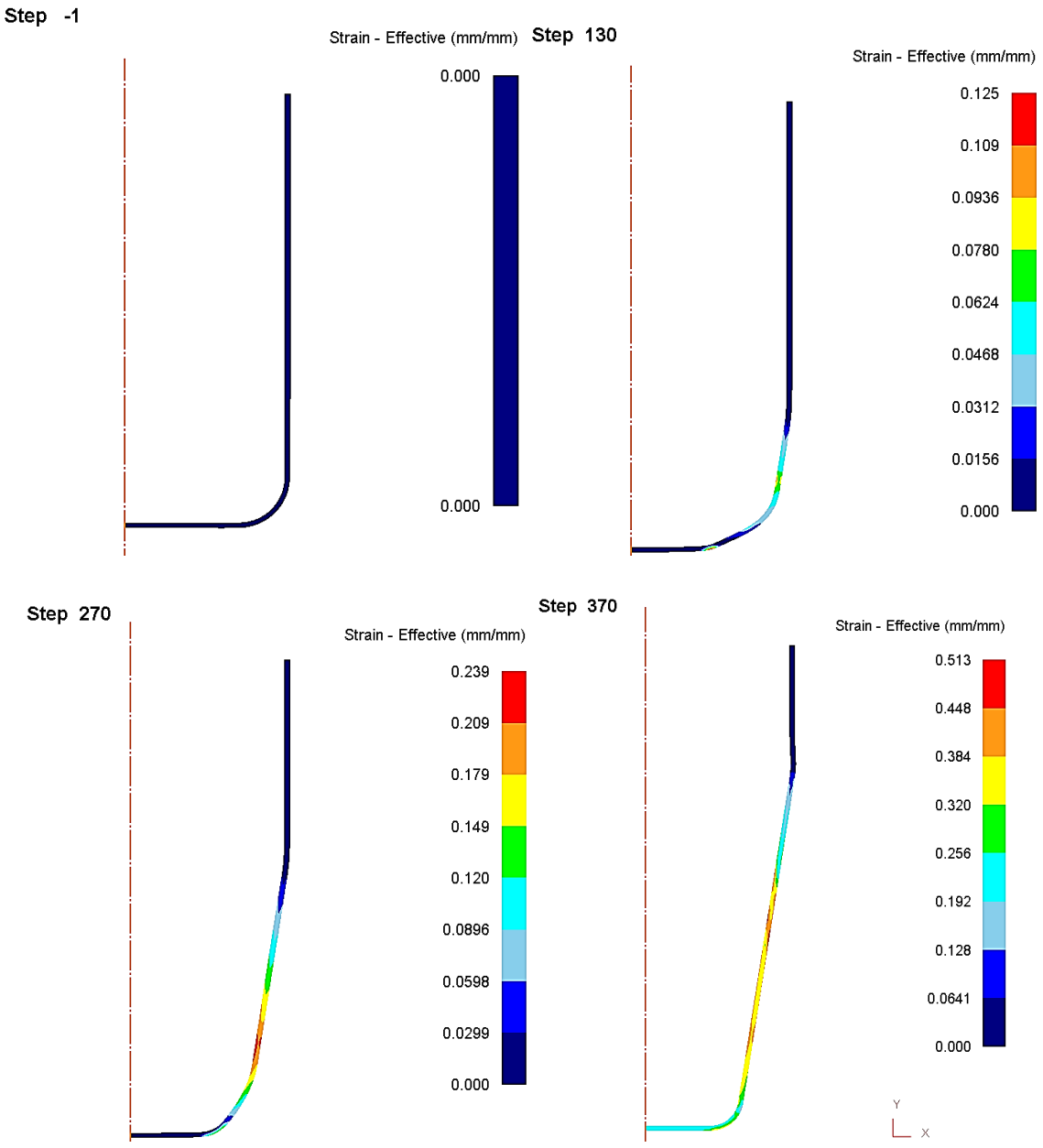


Рис.2.27. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях першого переходу конічного витягування.

Для оцінювання руйнування заготовки в процесі витягування необхідно враховувати значення критерію руйнування. Згідно з [21], при

моделюванні процесу витягування, він протікає без руйнування, коли значення обраного критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham не перевищує допустиме значення 0,5-0,55. Якщо отримані значення є більшими за ці, то вірогідність руйнування помітно зростає [21].

На рис.2.28 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на проміжних стадіях першого переходу конічного витягування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місці сполучення стінки та дна напівфабрикату, біля радіусу, де і проходять найбільші деформації. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,205, що є прийнятним.

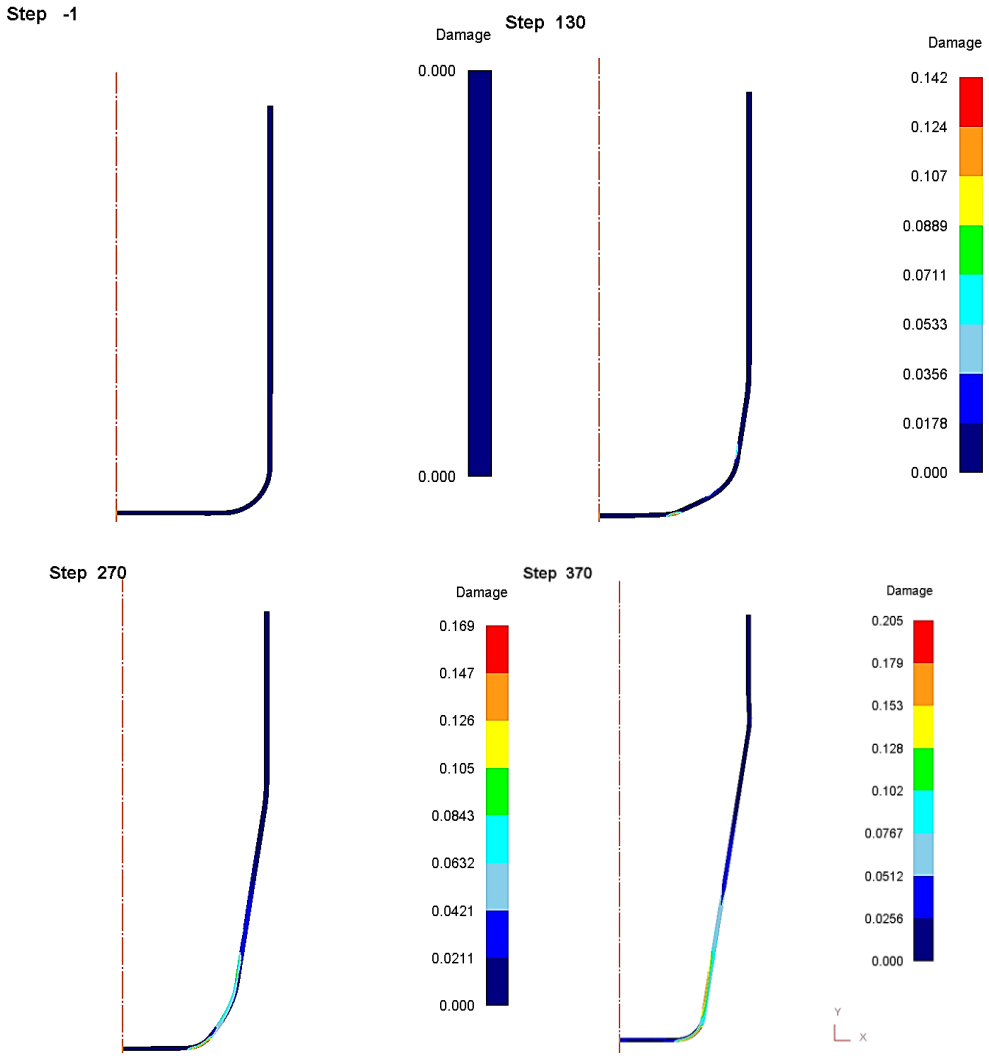


Рис.2.28. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях першого переходу конічного витягування.

На рис.2.29 показано графік залежності зусилля від переміщення на першому переході конічного витягування. Як бачимо, зусилля досягає максимуму в 35 кН, при проходженні пуансоном 36,4 мм.

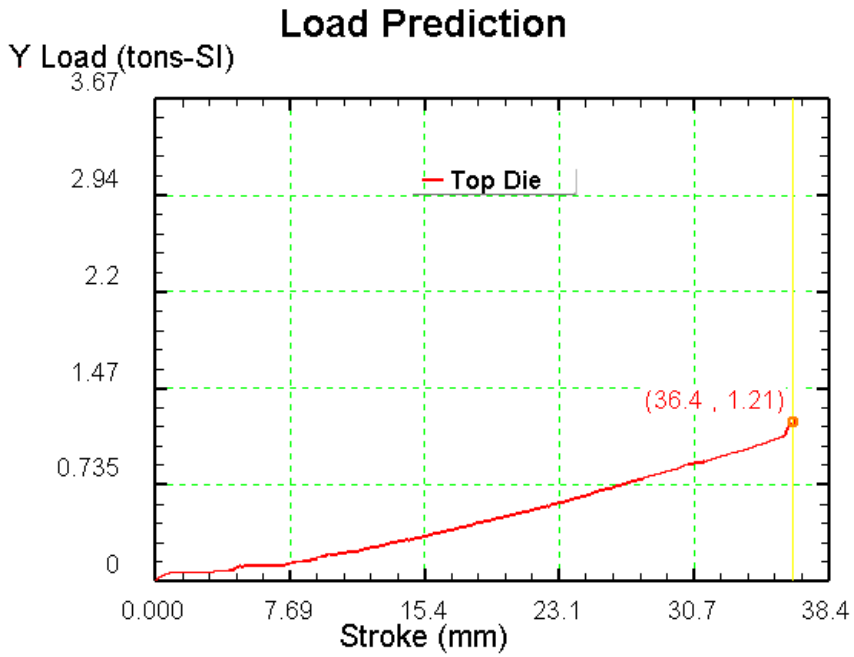


Рис.2.29. Графік залежності зусилля від переміщення на першому переході конічного витягування.

Схема другого переходу конічного витягування показана на рис.2.30 Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

На рис.2.31 показано стадії моделювання другого переходу конічного витягування.

Інтенсивність деформації процесу витягування на стадіях другого переходу показано на рис.2.32. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці сполучення стінки та дна. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}555\,\frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

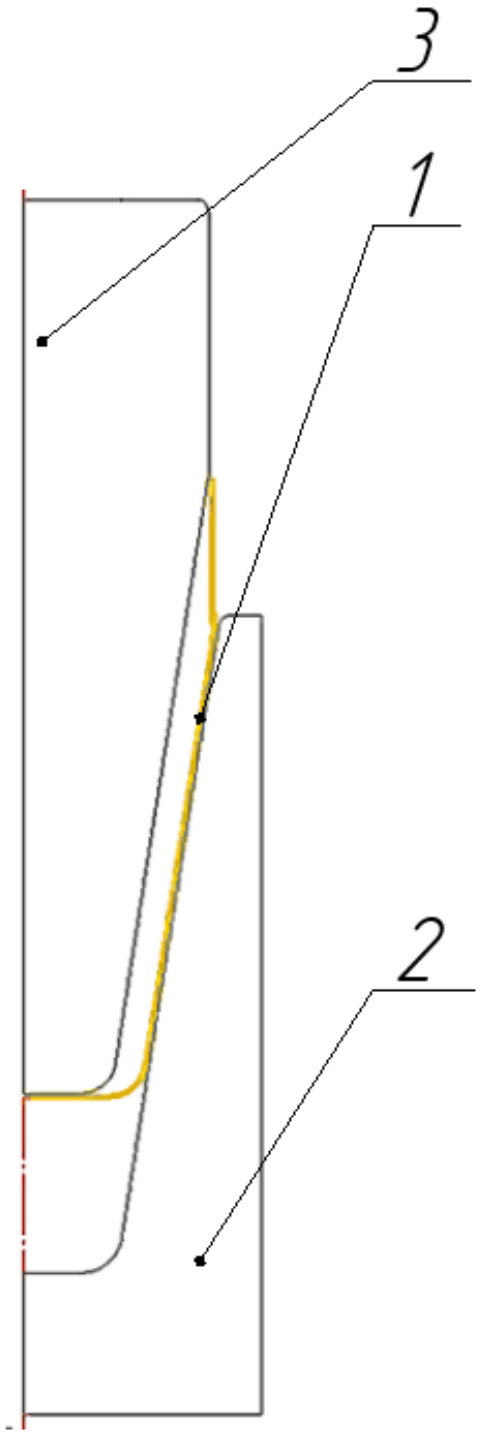


Рис.2.30. Схема другого переходу конічного витягування деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

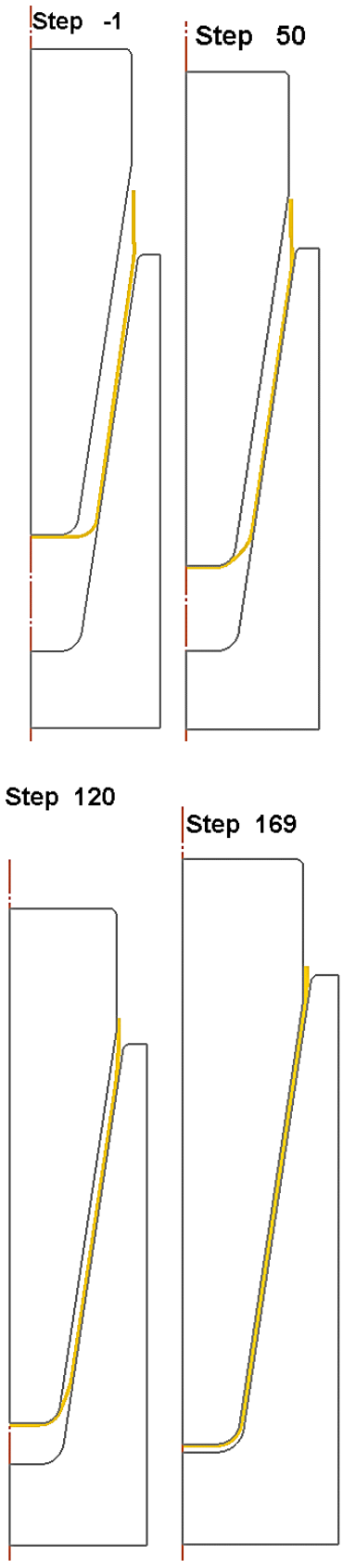


Рис.2.31. Стадії другого переходу конічного витягування «Обтічника».

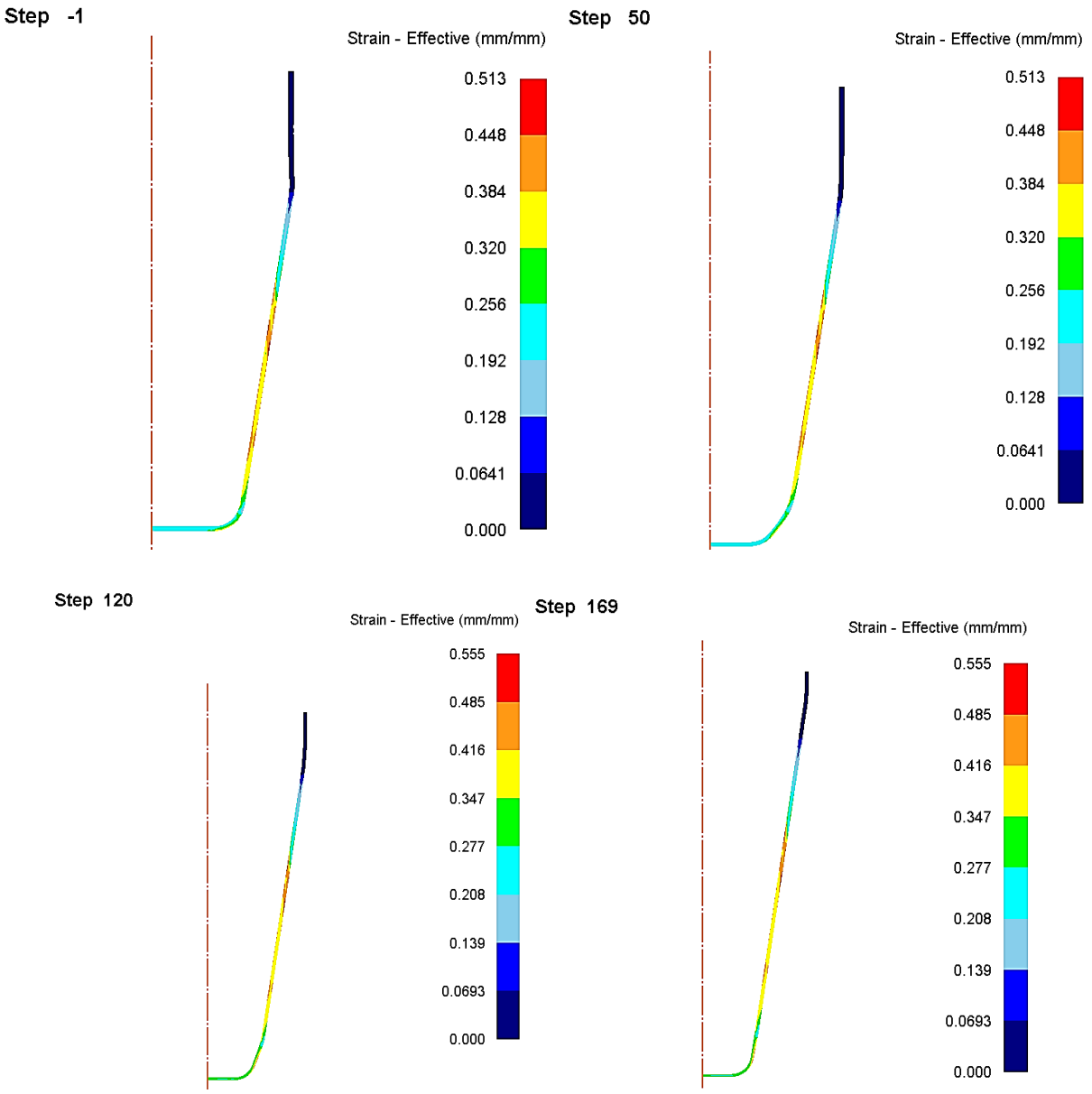


Рис.2.32. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях другого переходу конічного витягування.

На рис.2.33 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях другого переходу конічного витягування. Як бачимо, на даному переході також руйнування найбільш вірогідне у місці сполучення стінки та дна напівфабрикату, біля радіусу, де і проходять найбільші деформації. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,218, що є прийнятним.

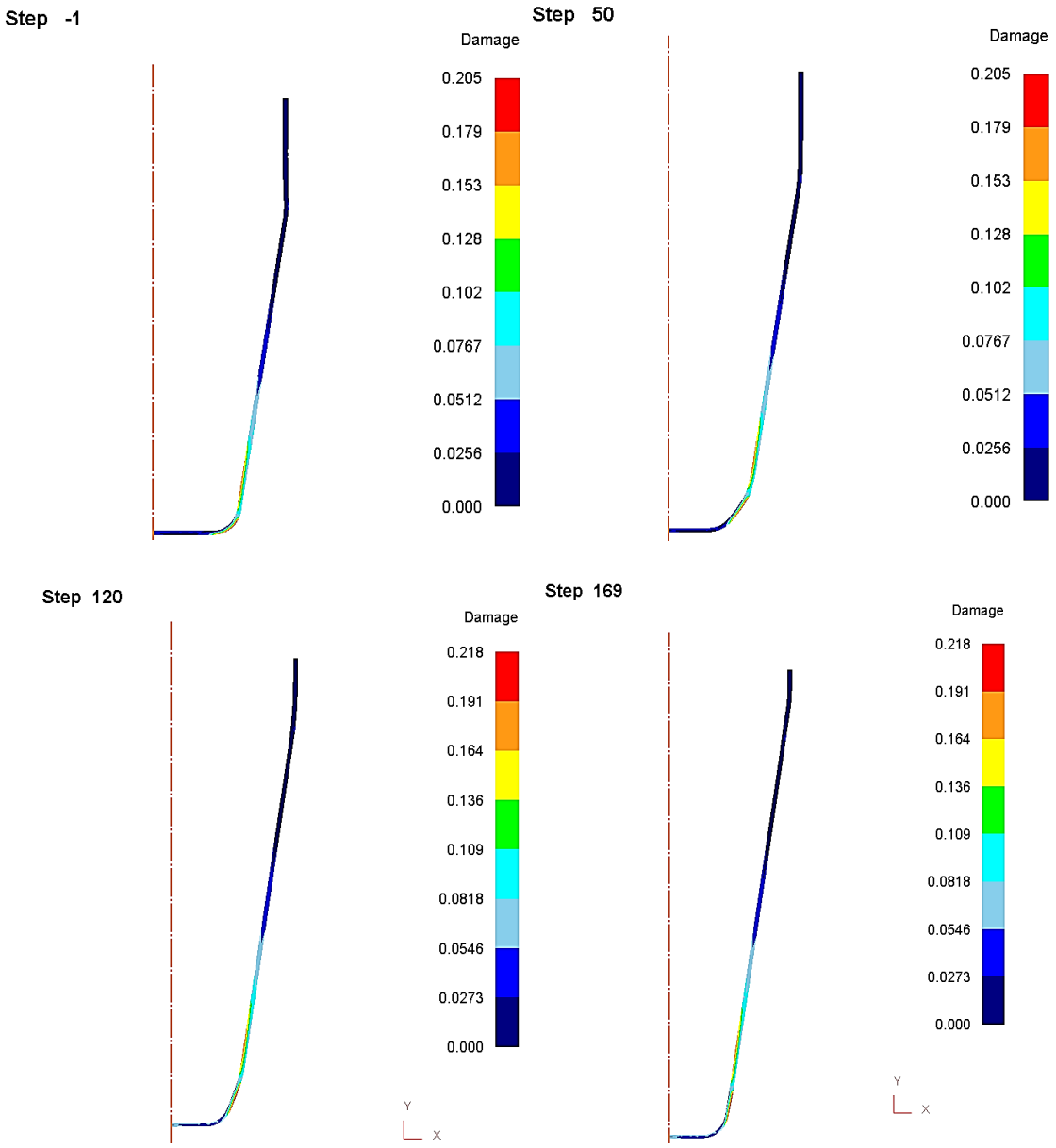


Рис.2.33. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях другого переходу конічного витягування.

На рис.2.34 показано графік залежності зусилля від переміщення на другому переході конічного витягування. Як бачимо, зусилля досягає максимуму в 1,5 кН, при проходженні пуансоном 16,9 мм.

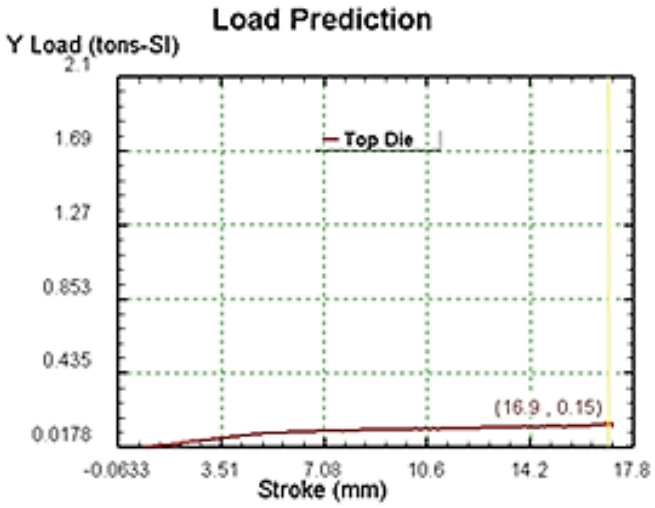


Рис.2.34. Графік залежності зусилля від переміщення на другому переході конічного витягування.

Схема третього переходу конічного витягування показана на рис.2.35 Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

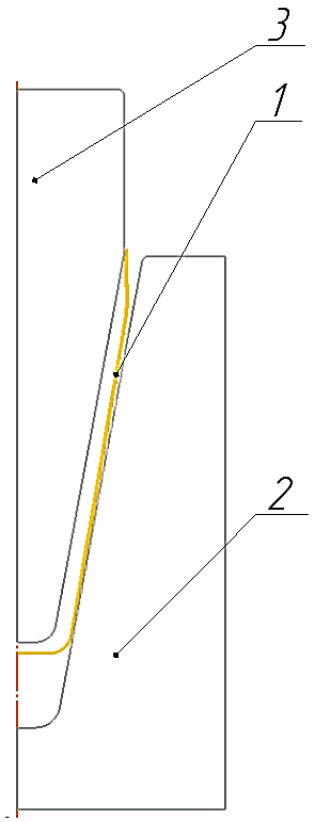
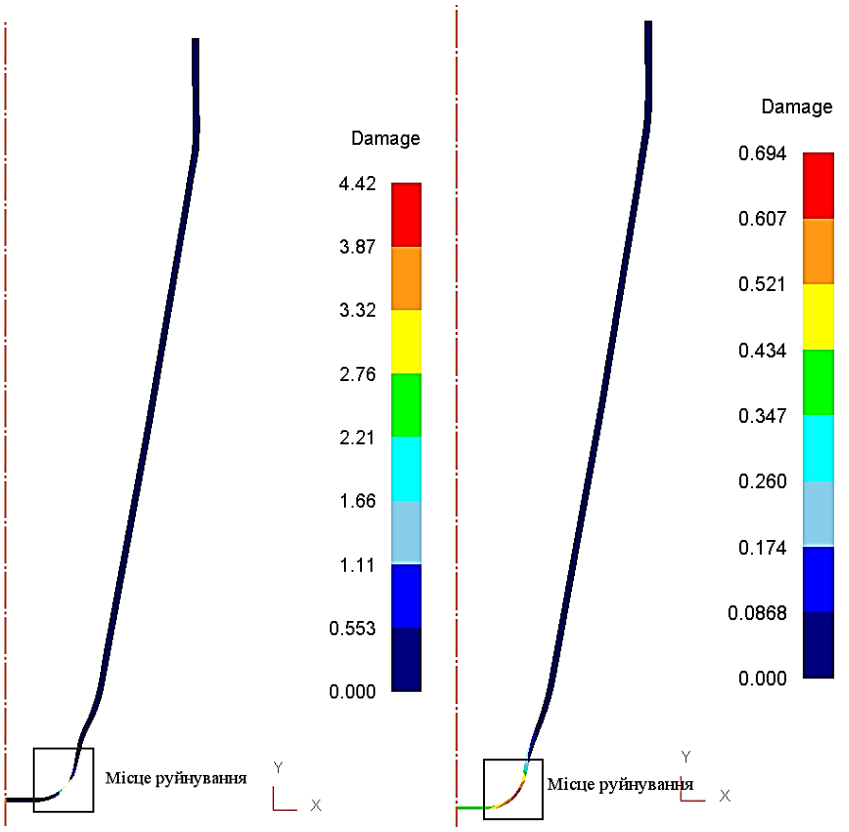


Рис.2.35. Схема третього переходу конічного витягування деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.36(а) показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на третьому переході конічного витягування. Як бачимо, критерій руйнування набагато виходить за допустимі межі і заготовка руйнується з вірогідністю 100%. Використання рекристалізаційного відпалу між переходами конічного витягування також не дало бажаного результату, і, як видно на рис.2.40(б), заготовка також руйнується.



а) б)

Рис.2.36. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях третього переходу конічного витягування при: а) витягуванні без рекристалізаційного відпалу; б) витягуванні з використанням рекристалізаційного відпалу.

Зважаючи на негативний результат при дослідженні даного методу за допомогою комп'ютерного моделювання, було зроблено висновок про недоцільність його використання для виготовлення деталі «Обтічник».

2.6. Результати моделювання витягування деталі «Обтічник» методом багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю з наступним калібруванням

Метод багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю з наступним калібруванням (рис.1.7, п.1.4) базується на тому, що спочатку витягується циліндрична заготовка типу «стакан», поверхня якої дорівнює поверхні готової деталі, а діаметр – найбільшому діаметру конуса. [8, с. 182]. На наступних операціях виконується конічна витяжка заготовки на визначену висоту «сходинки» та на розрахований діаметр. Після отримання ступінчатого профілю заготовка калібрується в окремому калібрувальному штампі, набуваючи потрібної форми та висоти. Недоліком цього методу є різностінність та наявність слідів від переходів [8, с. 181-182]

Діаметри переходів та радіус сполучення дна зі стінкою на перших переходах приймаємо аналогічними до п.2.5 за [8, табл. 66]: $d_{\text{сер}} = 31{,}55$ мм, $d_{1\text{сер}} = 18{,}93$ мм, $d_{2\text{сер}} = 13{,}63$ мм, $d_{3\text{сер}} = 10{,}08$ мм, $d_{4\text{сер}} = 7{,}76$ мм, $d_{5\text{сер}} = 6{,}45$ мм

У процесі витягування сталь піддається зміцненню та наклепу, що супроводжується підвищенням опору деформуванню. Оскільки при витягуванні «стакану» критерій руйнування досяг майже критичного значення, то було прийняте рішення провести рекристалізаційний відпал за температури $T = 600 \ldots 650℃$ та охолодженням на повітрі [6, с. 189-191].

Технологічні параметри, що були використані для моделювання процесу багатоступінчатого витягування:

- Матеріал – AISI–1008, COLD [70F(20C)] – замінник сталі 08кп в програмі «Deform 2D/3D» з максимально схожими механічними характеристикам;
- Температура заготовки $T = 20°C$;
- Коефіцієнт тертя по Кулону $\mu = 0{,}12$;

• Швидкість переміщення робочого інструменту (пуансону) $V_{\text{п}} = 10$ мм/с;

• Крок моделювання – 0,1 мм/крок.

Схема першого переходу витягування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.37. Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

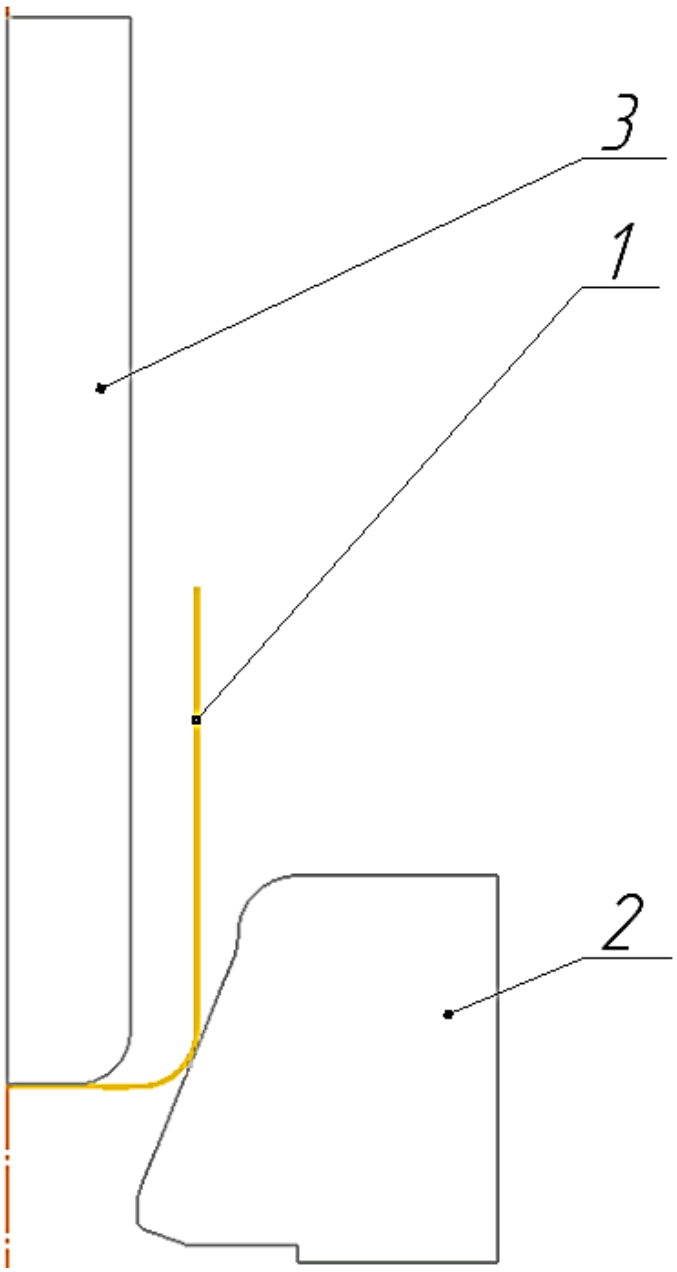


Рис.2.37. Схема першого переходу багатоопераційного витягування деталі «обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.38 показано стадії моделювання першого переходу витягування багатоступінчатого профілю.

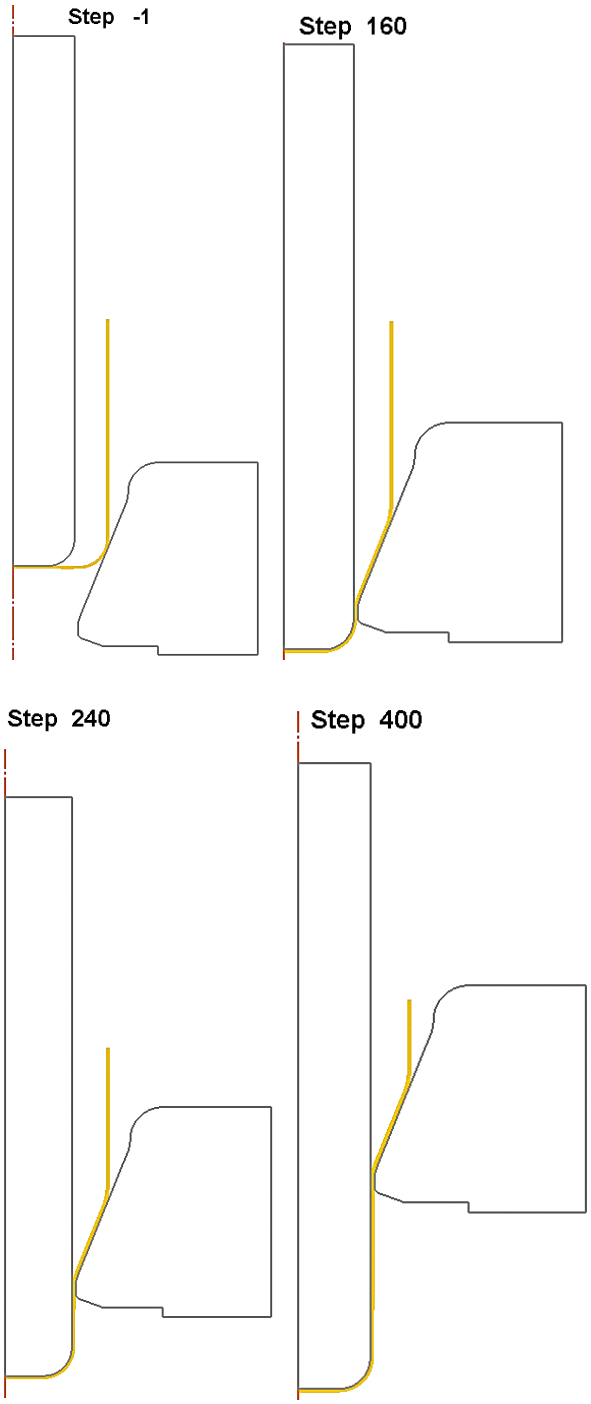


Рис.2.38. Стадії першого переходу багатоопераційного витягування «Обтічника».

Інтенсивність деформації процесу багатоопераційного витягування на стадіях першого переходу показано на рис.2.39. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці

сполучення стінки та дна. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}572\,\frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

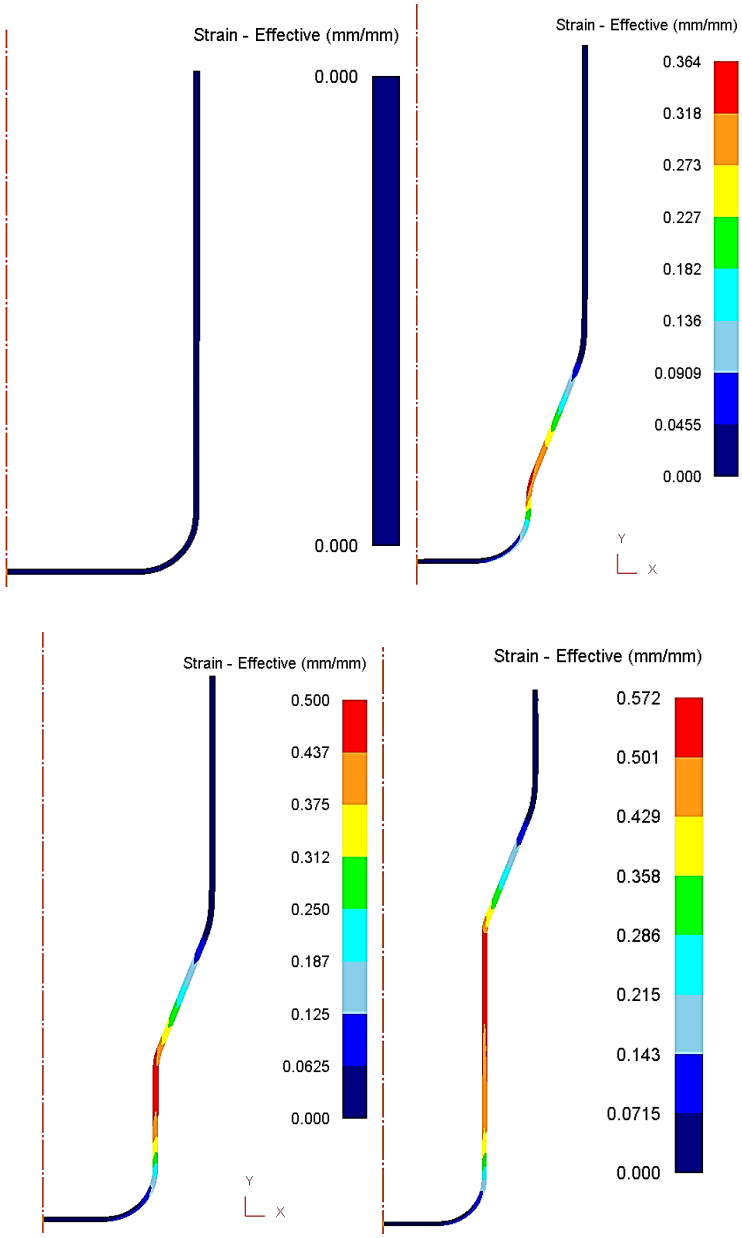


Рис.2.39. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях першого переходу багатоопераційного витягування.

Для оцінювання руйнування заготовки в процесі витягування необхідно враховувати значення критерію руйнування. Згідно з [21], при моделюванні процесу витягування, він протікає без руйнування, коли значення обраного критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham не

перевищує допустиме значення 0,5-0,55. Якщо отримані значення є більшими за ці, то вірогідність руйнування значно зростає [21].

На рис.2.40 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях другого переходу багатоопераційного витягування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у стінці та у місці сполучення стінки та дна напівфабрикату, біля радіусу, де і проходять найбільші деформації. Максимальне значення критерію руйнування на першому переході – 0,247, що є прийнятним.

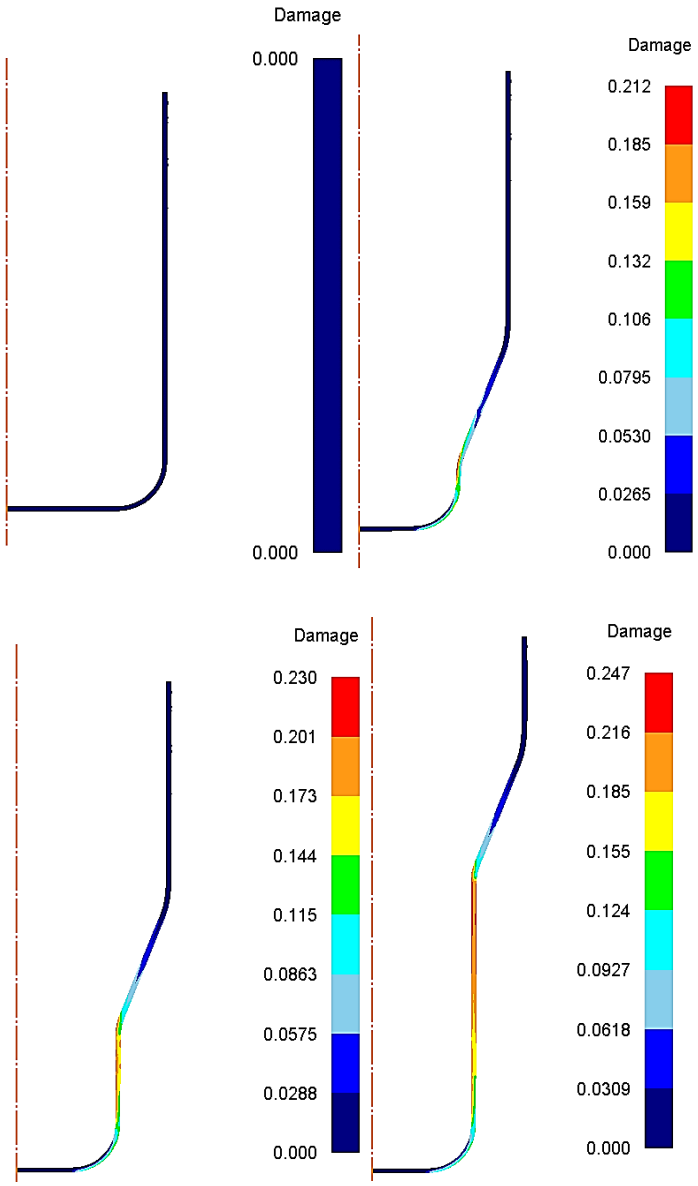


Рис.2.40. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях першого переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.41 показано графік залежності зусилля від переміщення на першому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю. Як бачимо, зусилля досягає максимуму в 13,9 кН, при проходженні пуансоном 34,8 мм на сумарному робочому шляху 40 мм.

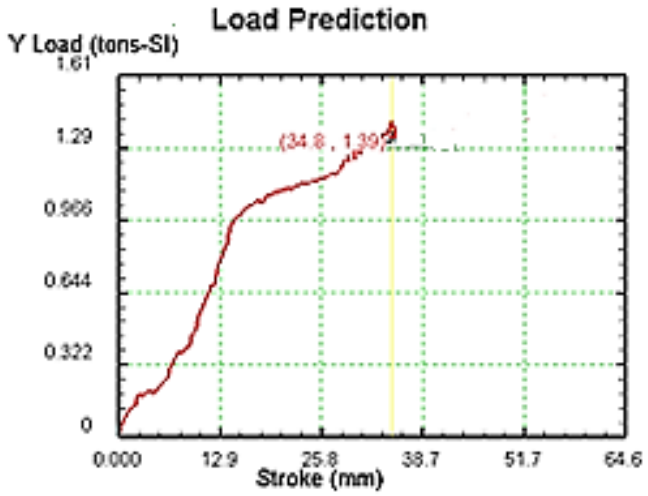


Рис.2.41. Графік залежності зусилля від переміщення на першому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

Схема другого переходу витягування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.42. Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

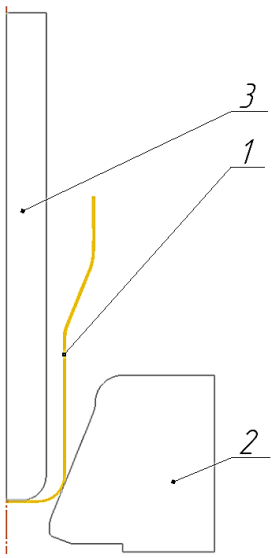


Рис.2.42. Схема другого переходу багатоопераційного витягування деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.43 показано стадії моделювання другого переходу витягування багатоступінчатого профілю.

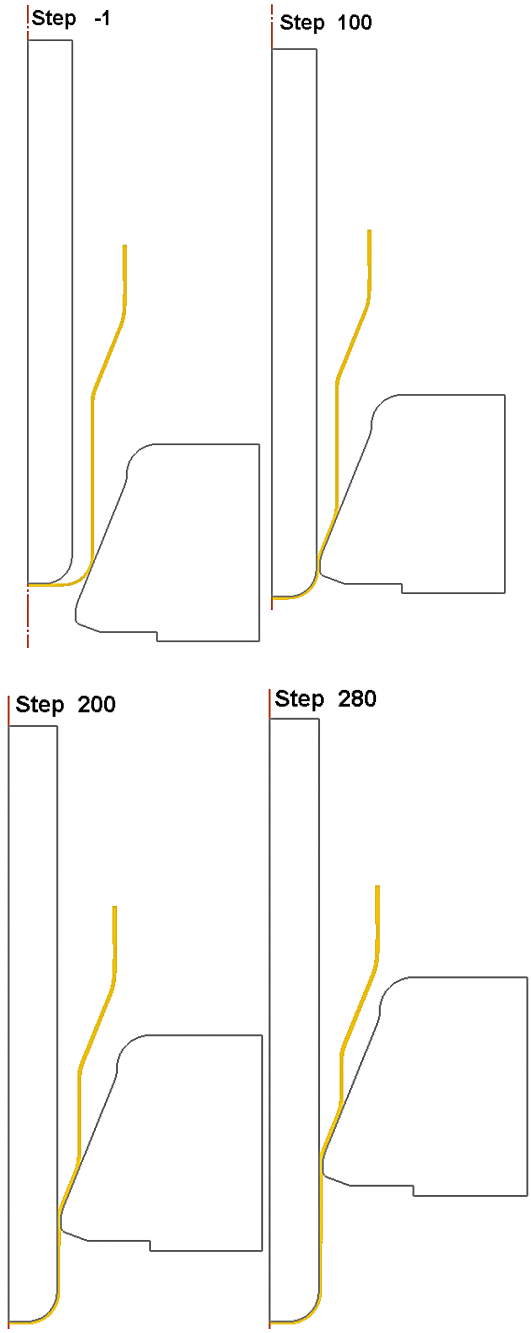


Рис.2.43. Стадії другого переходу багатоопераційного витягування «Обтічника».

Інтенсивність деформації процесу багатоопераційного витягування на стадіях другого переходу показано на рис.2.44. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці

переходу стінки у дно. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}981 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

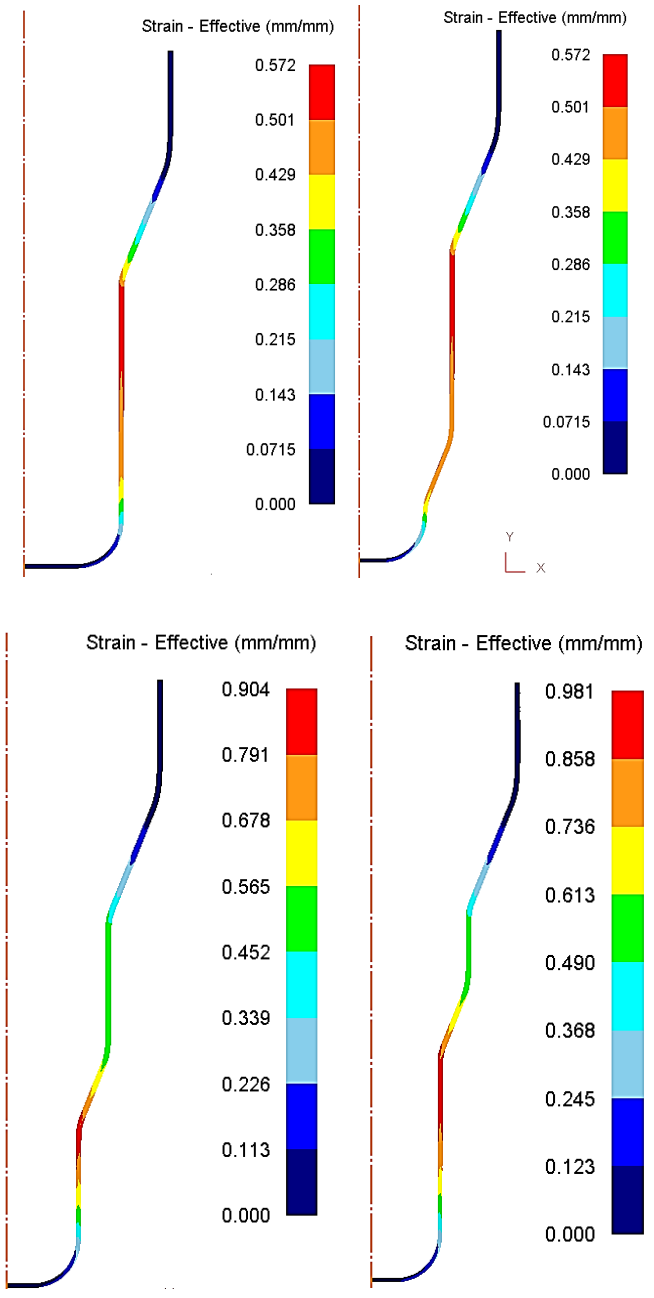


Рис.2.44. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях другого переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.45 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях другого переходу багатоопераційного витягування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місці утворення стінки даного переходу та ближче до радіусного переходу стінки у дно.

Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,439, що наближає даний перехід до його критичного значення, тому проводимо між другим та третім переходами рекристалізаційний відпал за температури $T = 600 \ldots 650℃$ та охолодженням на повітрі [6, с. 189-191] для відновлення пластичності після витягування.

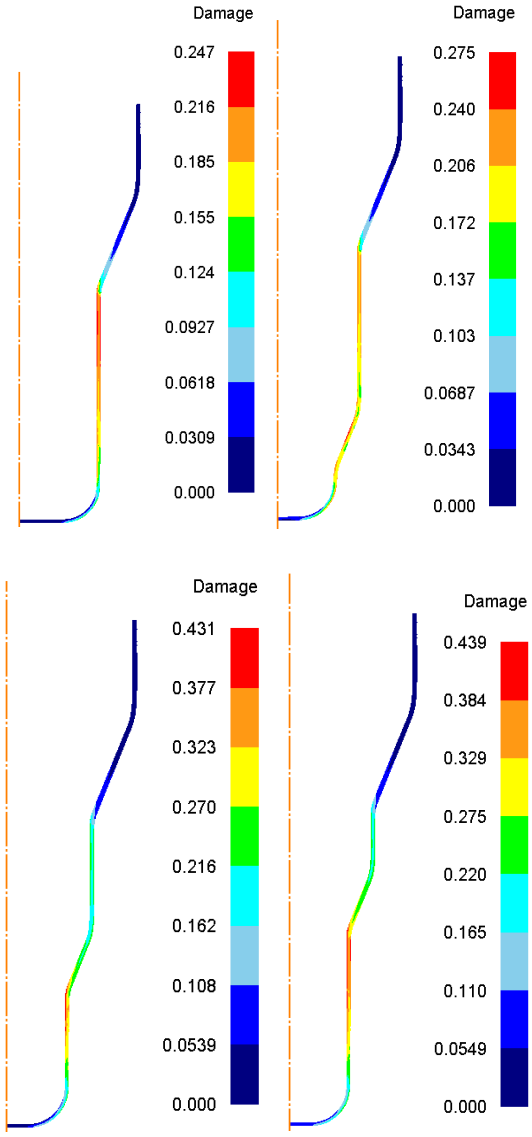


Рис.2.45. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях другого переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.46 показано графік залежності зусилля від переміщення на другому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю. Як бачимо, зусилля досягає максимуму в 10,4 кН, при проходженні пуансоном робочого шляху 28 мм.

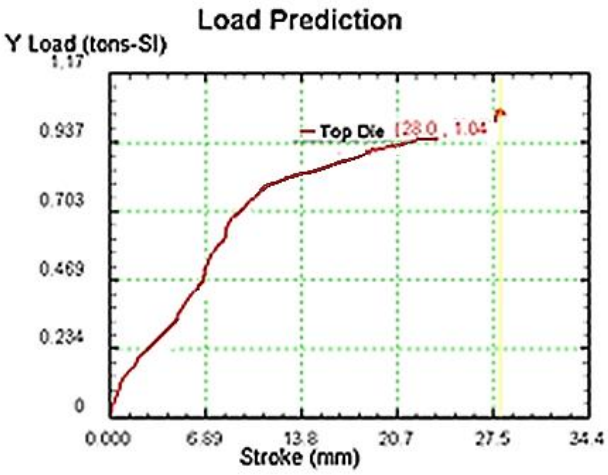


Рис.2.46. Графік залежності зусилля від переміщення на другому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

Схема третього переходу витягування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.47. Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

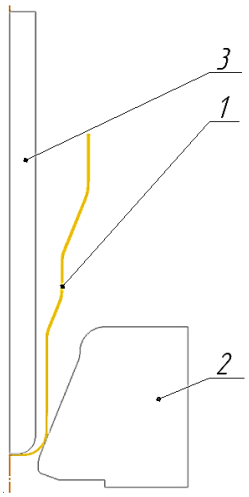


Рис.2.51. Схема третього переходу багатоопераційного витягування деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.48 показано проміжні стадії моделювання третього переходу витягування багатоступінчатого профілю.

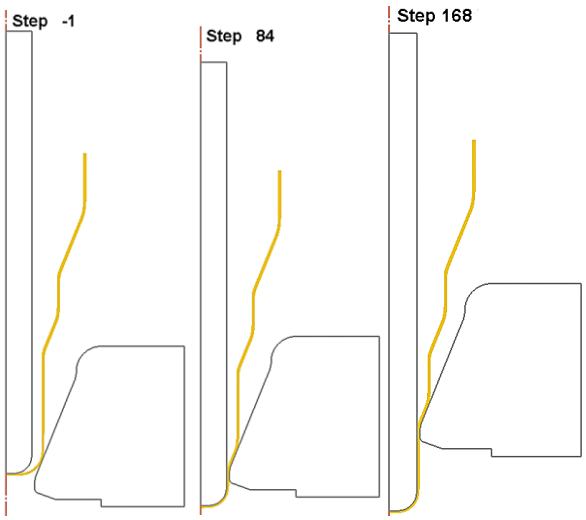


Рис.2.48. Стадії третього переходу багатоопераційного витягування «Обтічника».

Інтенсивність деформації процесу багатоопераційного витягування на стадіях третього переходу показано на рис.2.49. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці переходу стінки у дно. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}425 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

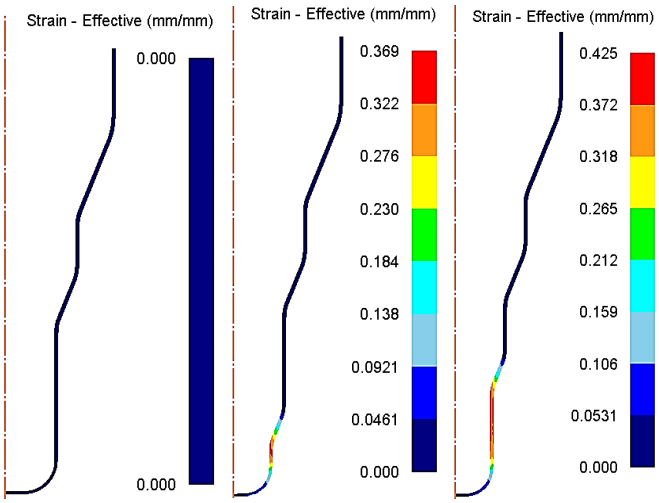


Рис.2.49. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях третього переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.50 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях третього переходу багатоопераційного

витягування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місці утворення стінки даного переходу та ближче до радіусного переходу стінки у дно. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,183, що є прийнятним.

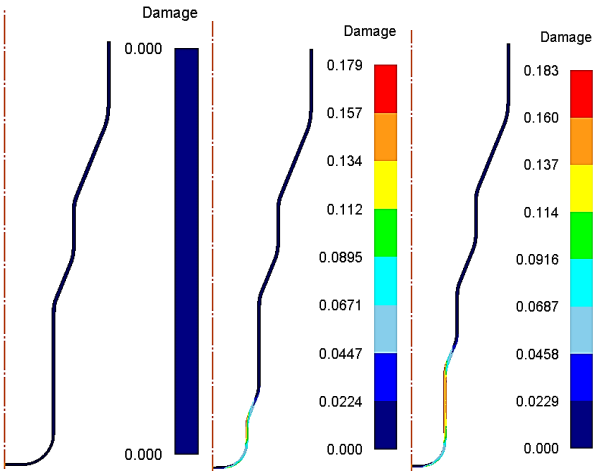


Рис.2.50. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях третього переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.51 показано графік залежності зусилля від переміщення на третьому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю. Як бачимо, зусилля досягає максимуму в 4,56 кН, при проходженні пуансоном 16,4 мм на сумарному робочому шляху 16,8 мм.

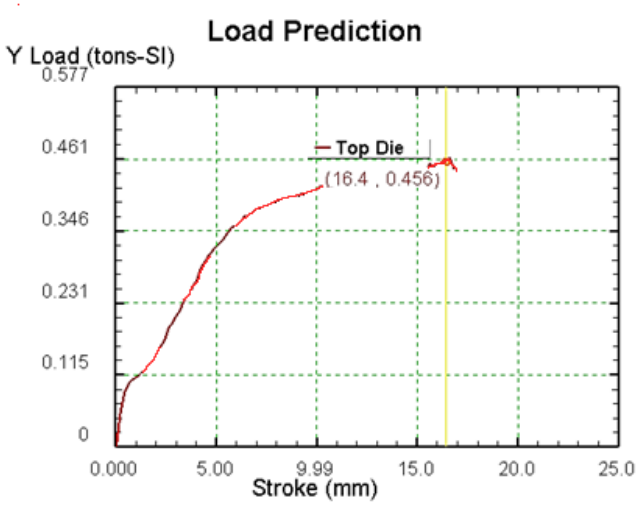


Рис.2.51. Графік залежності зусилля від переміщення на третьому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

Схема четвертого переходу витягування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.52. Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

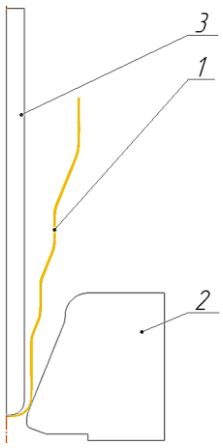


Рис.2.52. Схема четвертого переходу багатоопераційного витягування деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.53 показано стадії моделювання четвертого переходу витягування багатоступінчатого профілю.

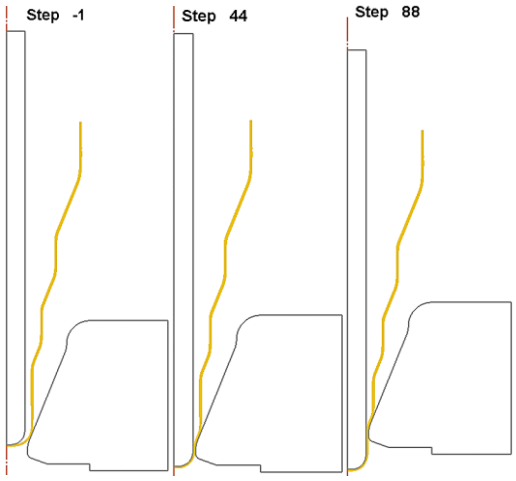


Рис.2.53. Стадії четвертого переходу багатоопераційного витягування «Обтічника».

Інтенсивність деформації процесу багатоопераційного витягування на стадіях четвертого переходу показано на рис.2.54. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці

переходу стінки у дно. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}728 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

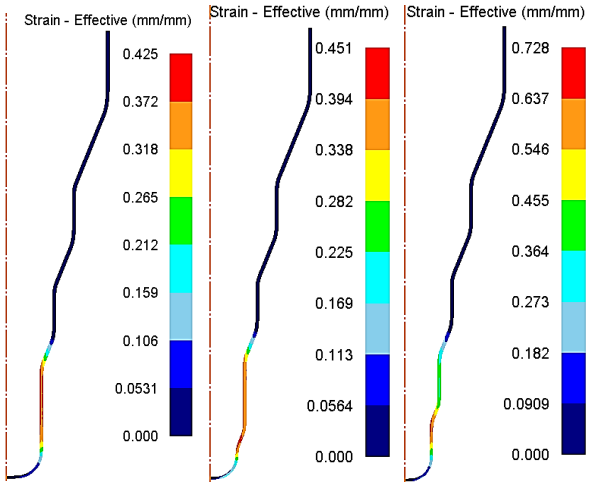


Рис.2.54. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях четвертого переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.55 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях четвертого переходу багатоопераційного витягування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місці утворення стінки даного переходу та ближче до радіусного переходу стінки у дно. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,363, що є прийнятним.

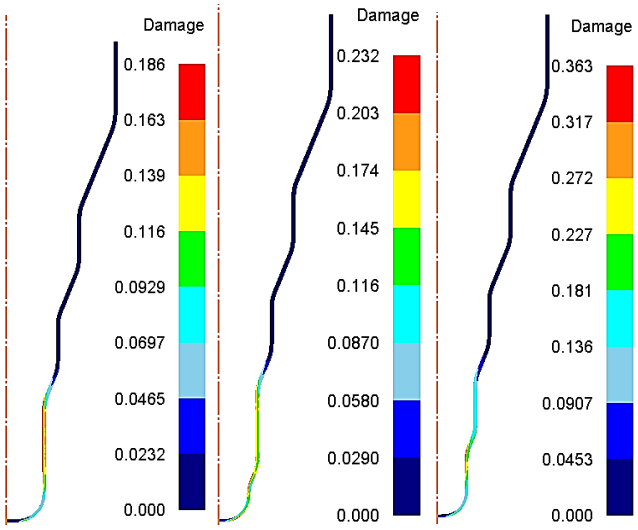


Рис.2.55. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях четвертого переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.56 показано графік залежності зусилля від переміщення на четвертому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю. Як бачимо, зусилля сягає максимуму в 3,9 кН, при проходженні пуансоном робочого шляху 8,8 мм.

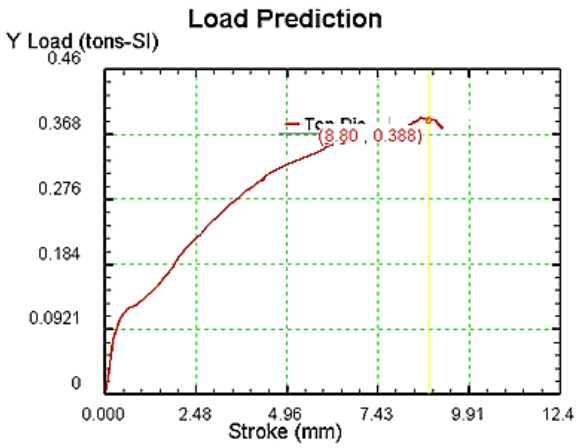


Рис.2.56. Графік залежності зусилля від переміщення на четвертому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

Схема п’ятого (останнього) переходу витягування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.57. Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

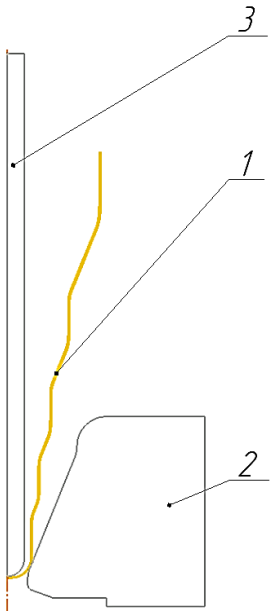


Рис.2.57. Схема п’ятого переходу багатоопераційного витягування деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.58 показано стадії моделювання п’ятого переходу витягування багатоступінчатого профілю.

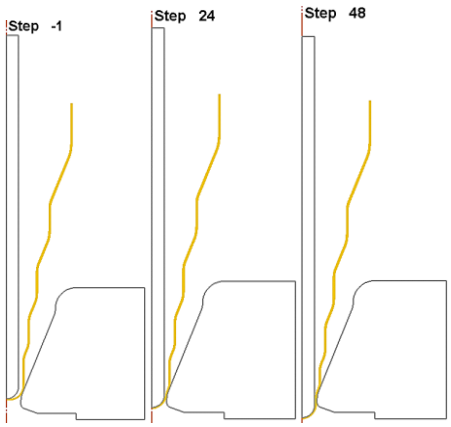


Рис.2.58. Стадії п’ятого переходу багатоопераційного витягування «Обтічника».

Інтенсивність деформації процесу багатоопераційного витягування на стадіях п’ятого переходу показано на рис.2.59. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці переходу стінки у дно. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}756 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

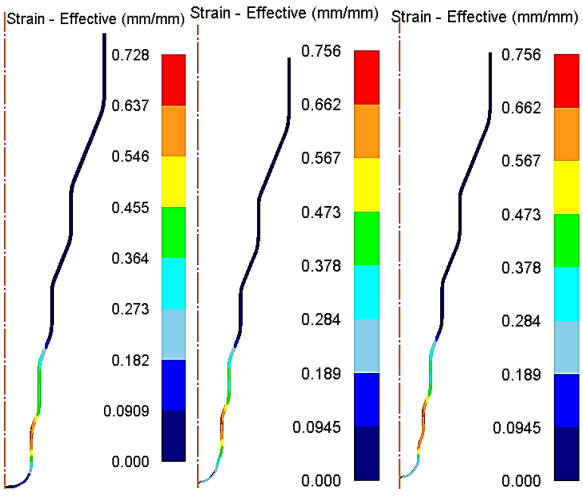


Рис.2.59. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях п’ятого переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.60 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях п’ятого переходу багатоопераційного

витягування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місці утворення стінки даного переходу та ближче до радіусного переходу стінки у дно. Максимальне значення критерію руйнування на останньому переході – 0,383, що є прийнятним.

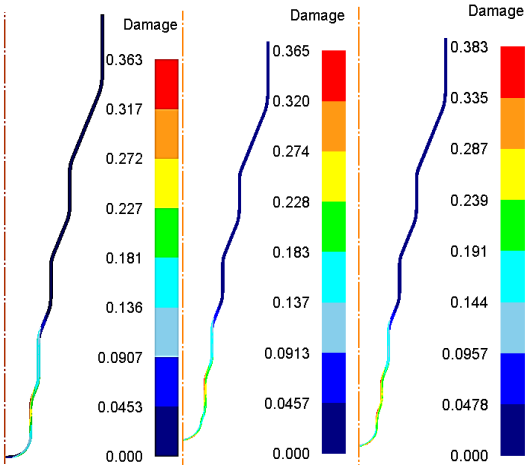


Рис.2.60. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях п’ятого переходу багатоопераційного витягування.

На рис.2.61 показано графік залежності зусилля від переміщення на останньому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю. Як бачимо, зусилля сягає максимуму в 2,65 кН, при проходженні пуансоном робочого шляху 4,8 мм.

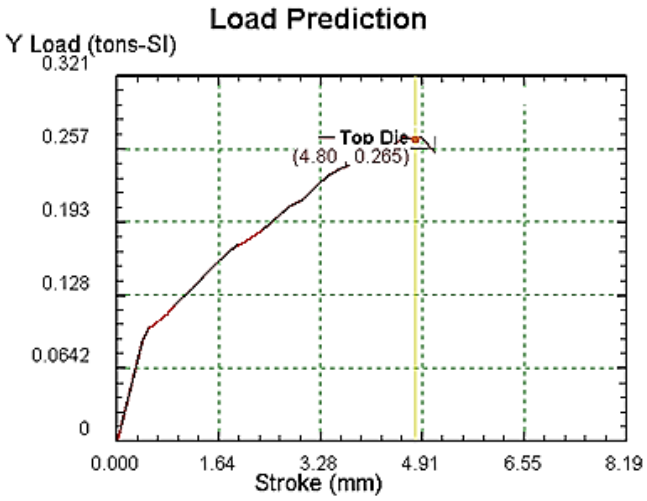


Рис.2.61. Графік залежності зусилля від переміщення на останньому переході багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

Головним параметром якості деталі є відповідність отриманих розмірів до заданих із врахуванням на них допуску. При моделюванні даним методом особливу увагу слід звернути саме на товщину отриманого напівфабрикату, оскільки метод являє собою багатоперехідне витягування, тобто товщина у місці контакту стінки заготовки і радіусної частини пуансона буде потоншуватися. Напівфабрикат з отриманими після моделювання розмірами показано на рис.2.62.

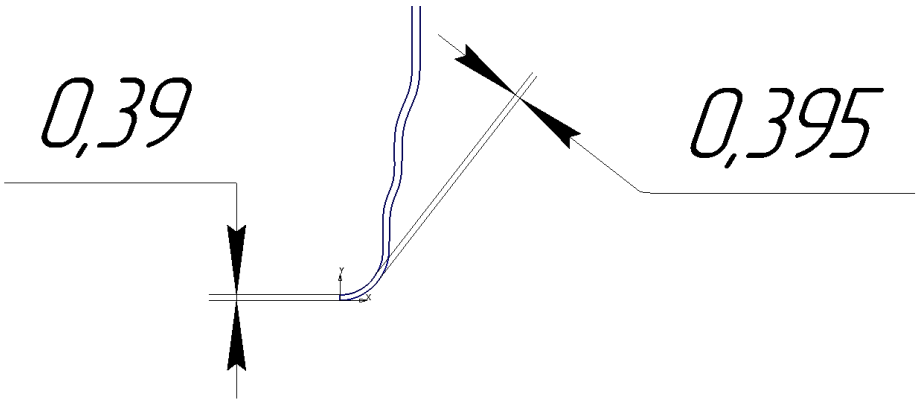


Рис.2.62. Отримані розміри після моделювання багатоступінчатого витягування напівфабрикату.

Як бачимо, товщина (рис.2.1) отриманого напівфабрикату виходить за межі поля допуску. Тому було прийняте рішення вдосконалити даний метод, а саме замінити останні три переходи витягування на три переходи обтискування. Результати обтискування будуть приведені нижче.

Діаметри третього, четвертого та п’ятого переходів обтискування використовуємо як і для витягування.

Оскільки після другого переходу багатоперехідного витягування критерій руйнування досяг майже критичного значення, то було прийняте рішення провести рекристалізаційний відпал за температури $T = 600 \dots 650℃$ та охолодженням на повітрі [6, с. 189-191].

Технологічні параметри, що були використані для моделювання процесу багатоступінчатого обтискування:

• Матеріал – AISI–1008, COLD [70F(20C)] – замінник сталі 08кп в програмі «Deform 2D/3D» з максимально схожими механічними характеристикам;

• Температура заготовки T = 20°C;

• Коефіцієнт тертя по Кулону $\mu = 0{,}12$;

• Швидкість переміщення робочого інструменту (матриці) $V_{\text{п}} = 10$ мм/с;

• Крок моделювання – 0,1 мм/крок.

Схема третього переходу обтискування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.63. Вихідна заготовка (1) встановлюється на пуансон (3) та деформується під дією матриці (2). Для підвищення жорсткості конструкції було використано пуансон, що повторює форму заготовки з певним зазором, та ступінчасту матрицю.

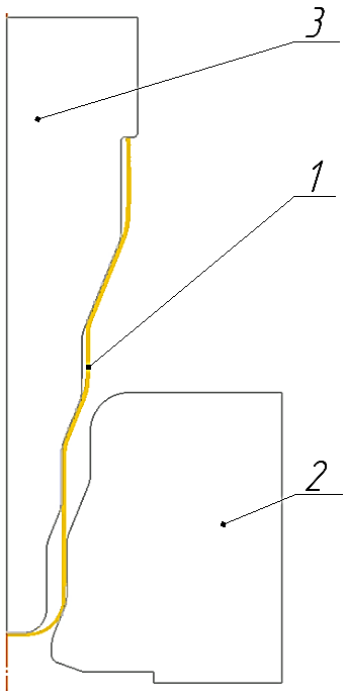


Рис.2.63. Схема третього переходу багатоступінчатого обтискування заготовки деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.64 показано стадії моделювання третього переходу обтискування багатоступінчатого профілю.

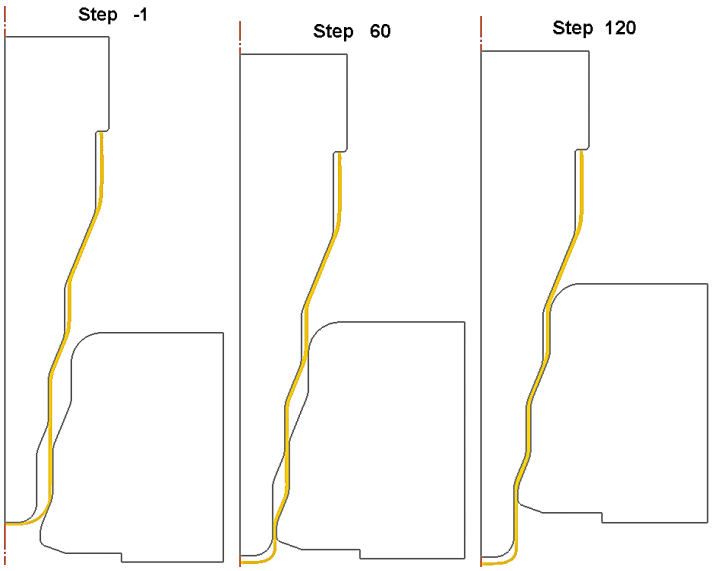


Рис.2.64. Стадії третього переходу багатоопераційного обтискування «обтічника».

Інтенсивність деформації процесу багатоопераційного обтискування на стадіях третього переходу показано на рис.2.65. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці переходу стінки у дно. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}503 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

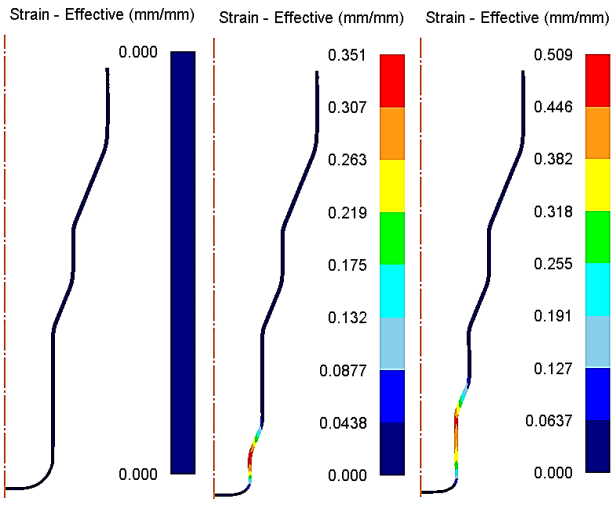


Рис.2.65. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях третього переходу багатоопераційного обтискування.

На рис.2.66 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях третього переходу багатоопераційного

обтискування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місці утворення стінки даного переходу та ближче до радіусного переходу стінки у дно. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,0968, що є прийнятним.

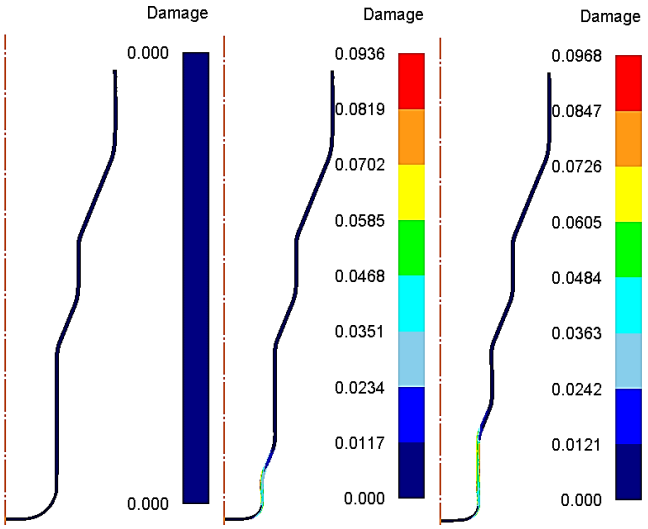


Рис.2.66. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях третього переходу багатоопераційного обтискування.

На рис.2.67 показано графік залежності зусилля від переміщення на третьому переході багатоопераційного обтискування багатоступінчатого профілю. Як бачимо, зусилля сягає максимуму в 13,6 кН, при проходженні пуансоном робочого шляху 12 мм.

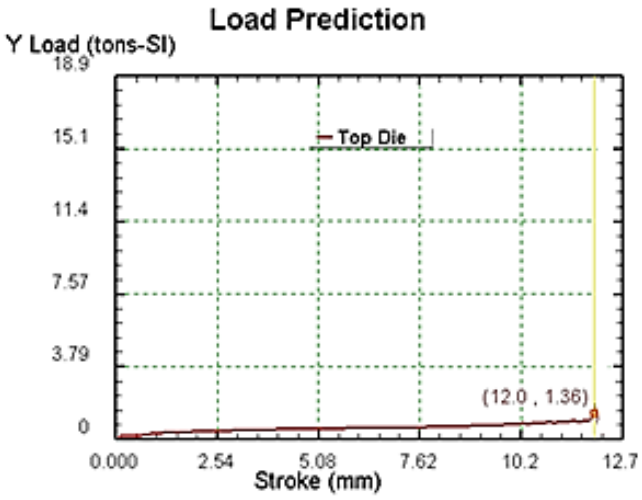


Рис.2.67. Графік залежності зусилля від переміщення на третьому переході багатоопераційного обтискування багатоступінчатого профілю.

Схема четвертого переходу обтискування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.68. Вихідна заготовка (1) встановлюється на пуансон (3) та деформується під дією матриці (2).

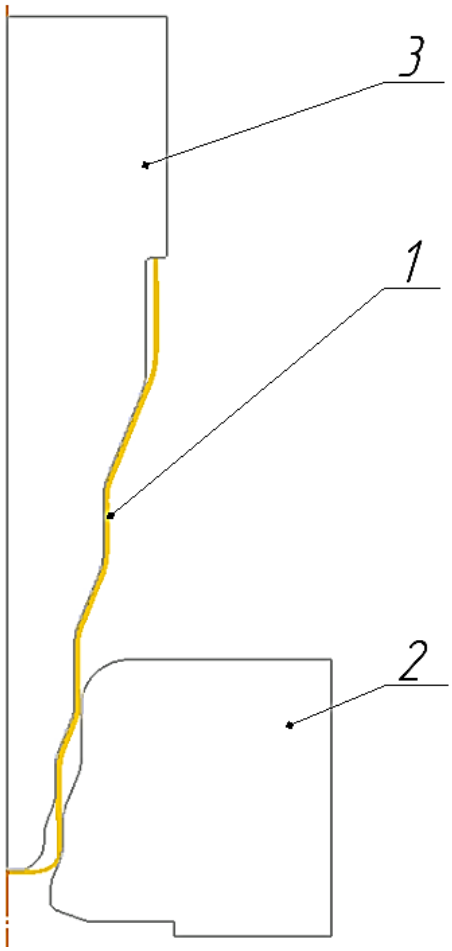


Рис.2.68. Схема четвертого переходу багатоступінчатого обтискування заготовки деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.69 показано стадії моделювання четвертого переходу обтискування багатоступінчатого профілю.

Інтенсивність деформації процесу багатоопераційного обтискування на стадіях четвертого переходу показано на рис.2.70. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці переходу стінки у дно. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}673 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

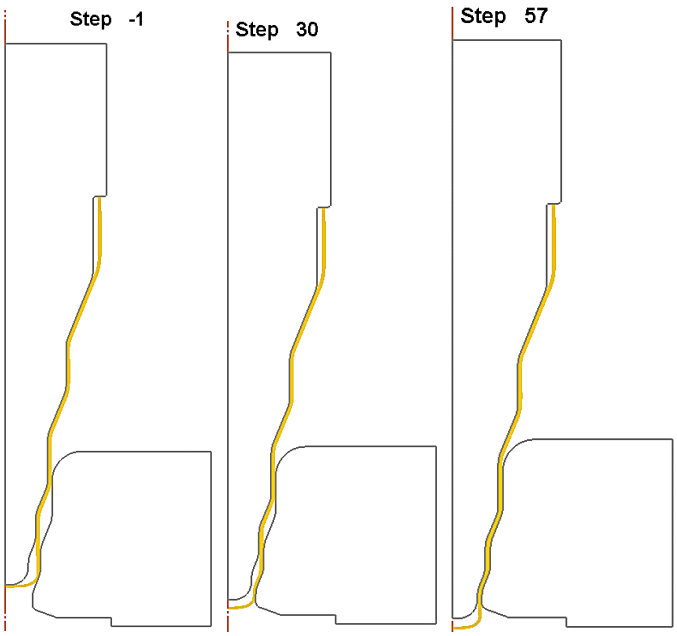


Рис.2.69. Стадії четвертого переходу багатоопераційного обтискування «Обтічника».

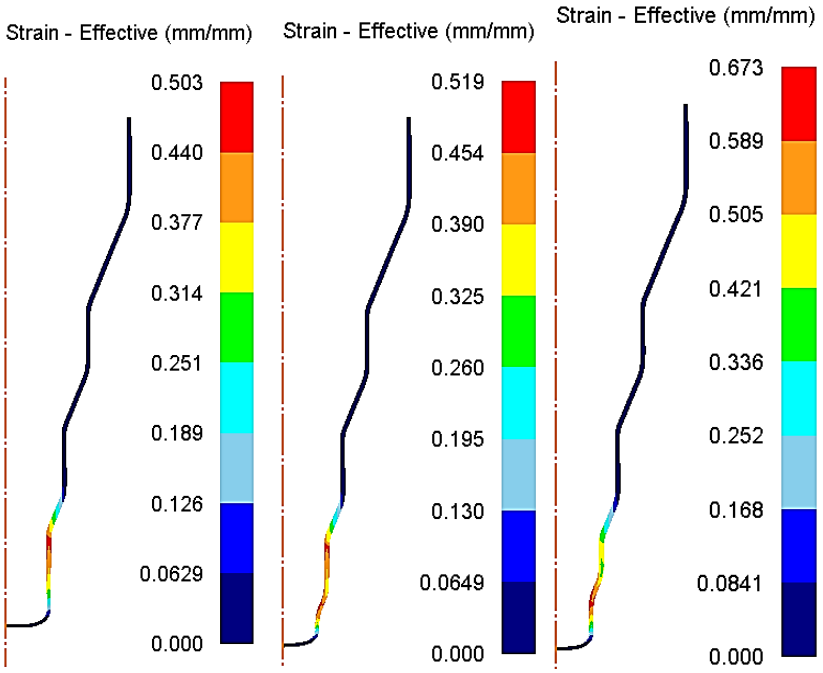


Рис.2.70. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях четвертого переходу багатоопераційного обтискування.

На рис.2.71 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях четвертого переходу багатоопераційного обтискування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місці утворення

стінки даного переходу та ближче до радіусного переходу стінки у дно. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,184, що є прийнятним.

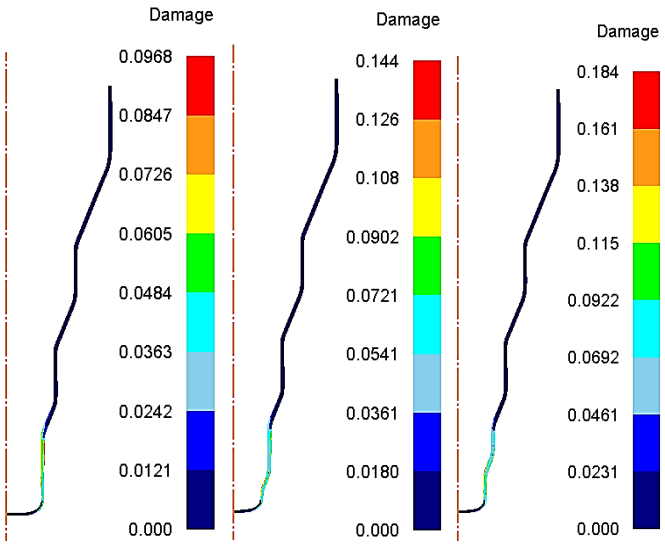


Рис.2.71. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях четвертого переходу багатоопераційного обтискування.

На рис.2.72 показано графік залежності зусилля від переміщення на четвертому переході багатоопераційного обтискування багатоступінчатого профілю. Як бачимо, зусилля сягає максимуму в 6,07 кН, при проходженні пуансоном робочого шляху 5,7 мм.

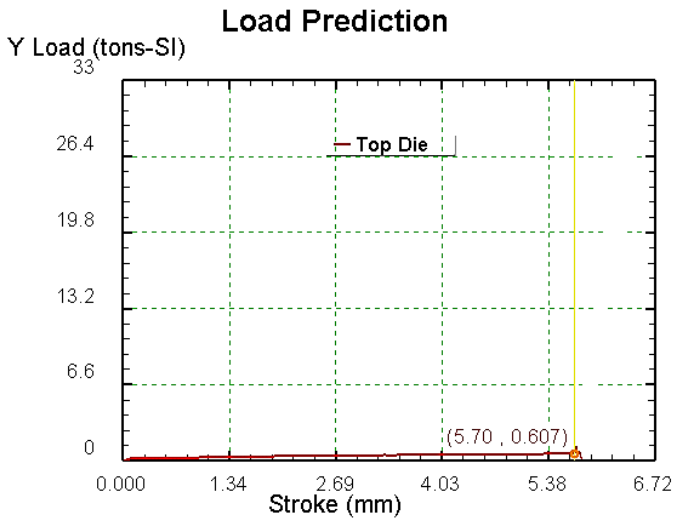


Рис.2.72. Графік залежності зусилля від переміщення на четвертому переході багатоопераційного обтискування багатоступінчатого профілю.

Схема п’ятого (останнього) переходу обтискування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.73. Вихідна заготовка (1) встановлюється на пуансон (3) та деформується під дією матриці (2).

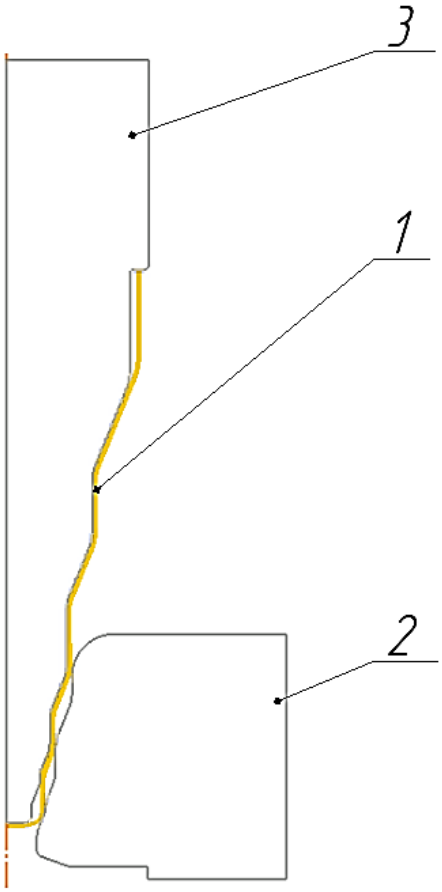


Рис.2.73. Схема п’ятого переходу багатоступінчатого обтискування заготовки деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.74 показано стадії моделювання п’ятого переходу обтискування багатоступінчатого профілю.

Інтенсивність деформації процесу багатоопераційного обтискування на стадіях п’ятого переходу показано на рис.2.75. Як бачимо з розподілу, найбільша деформація виникає так само у стінці напівфабрикату та у місці переходу стінки у дно. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}834 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

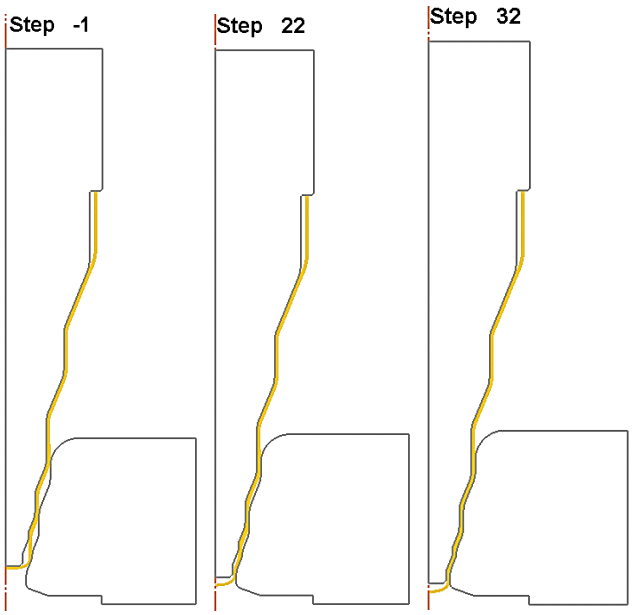


Рис.2.74. Стадії п’ятого переходу багатоопераційного обтискування «Обтічника».

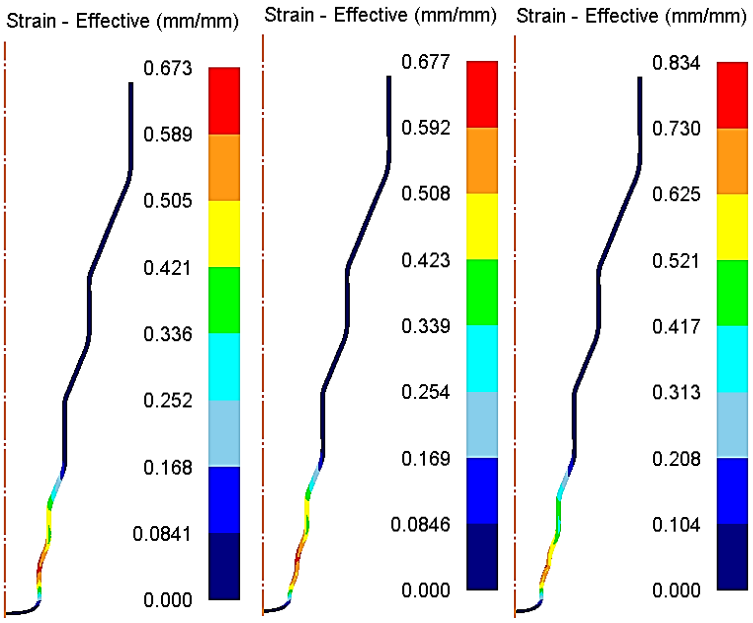


Рис.2.75. Розподіл інтенсивності деформації на стадіях п’ятого переходу багатоопераційного обтискування.

На рис.2.76 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях п’ятого переходу багатоопераційного обтискування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місці утворення стінки даного переходу та ближче до радіусного переходу стінки у дно.

Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,217, що є прийнятним.

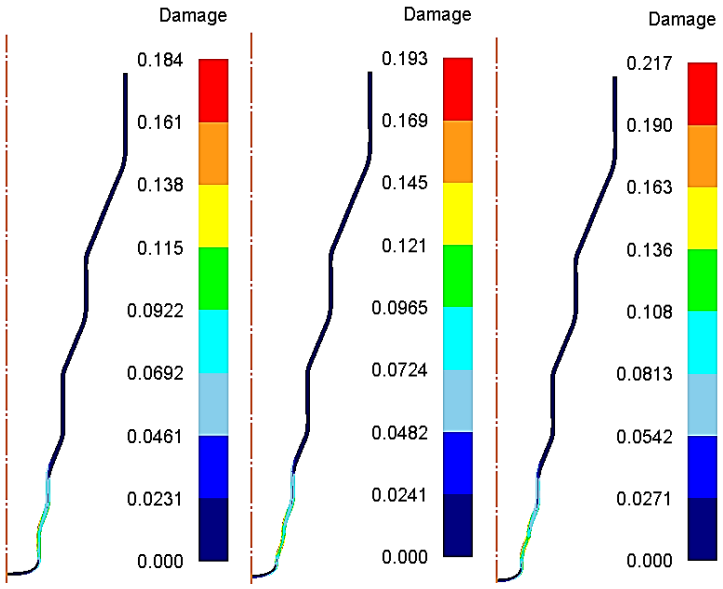


Рис.2.76. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на стадіях п’ятого переходу багатоопераційного обтискування.

На рис.2.77 показано графік залежності зусилля від переміщення на п’ятому переході багатоопераційного обтискування багатоступінчатого профілю. Як бачимо, зусилля сягає максимуму в 9,5 кН, при проходженні пуансоном робочого шляху 3,2 мм.

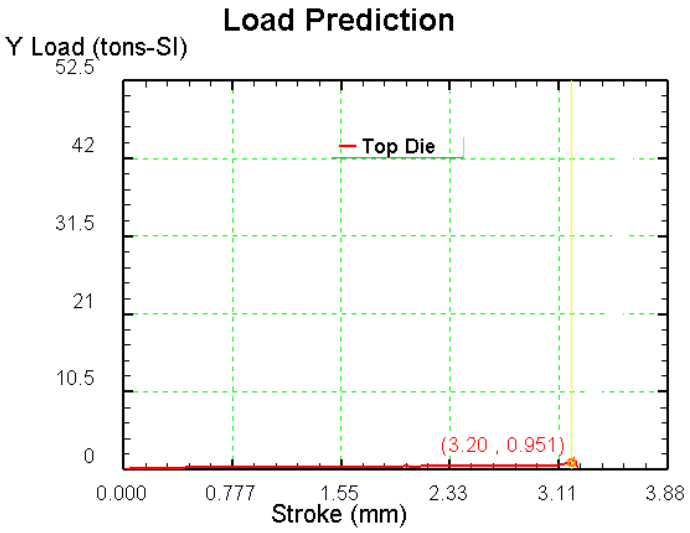


Рис.2.77. Графік залежності зусилля від переміщення на п’ятому переході багатоопераційного обтискування багатоступінчатого профілю.

Головним параметром якості деталі є відповідність отриманих розмірів до заданих із врахуванням на них допуску. На відміну від попереднього варіанту, при обтискуванні заготовка має потовщуватися, що має компенсувати її потоншення після витягування «стакану». Напівфабрикат з отриманими після моделювання розмірами показано на рис.2.78.

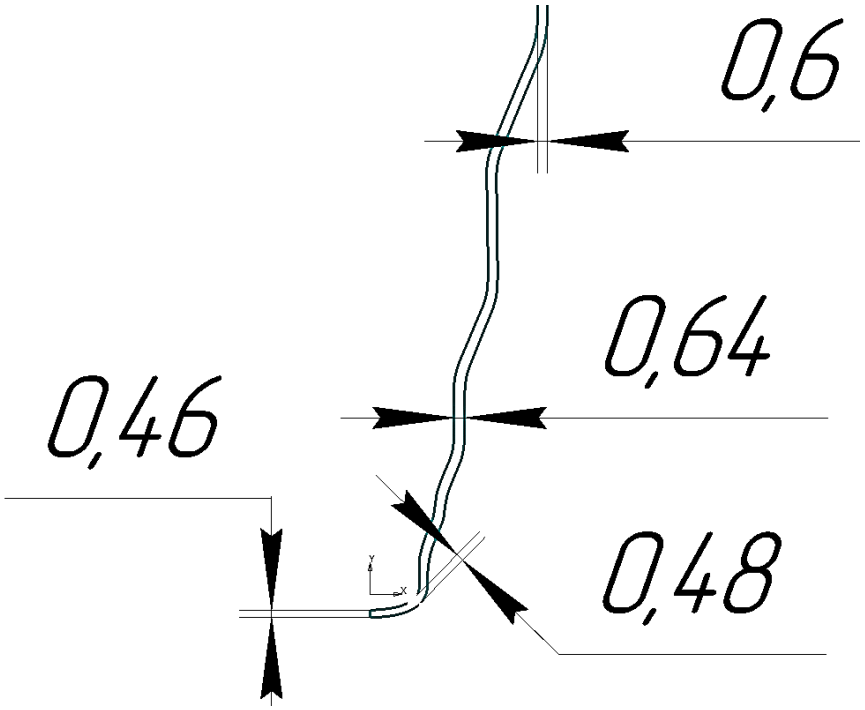


Рис.2.78. Отримані розміри напівфабрикату після моделювання методом багатоступінчатого витягування і обтискування.

Як бачимо, товщина стінки та біля (рис.2.1) отриманого напівфабрикату знаходиться у межах поля допуску. Тож, можемо зробити висновок про більшу ефективність даного методу, порівняно з попередніми. Результати операції калібрування отриманого ступінчатого напівфабрикату приведено нижче.

Технологічні параметри, що були використані для моделювання процесу калібрування:

- Матеріал – AISI–1008, COLD [70F(20C)] – замінник сталі 08кп в програмі «Deform 2D/3D» з максимально схожими механічними характеристикам;

• Температура заготовки T = 20°C;

• Коефіцієнт тертя по Кулону $\mu = 0{,}12$;

• Швидкість переміщення робочого інструменту (пуансону) $V_{\text{п}} = 10$ мм/с;

• Крок моделювання – 0,1 мм/крок.

Форма та кут матриці співпадають з кутом та формою готової деталі (рис. 2.3). Кут пуансона приймаємо величиною в 21˚ – меншим за кут матриці [7, с. 282].

Схема калібрування багатоступінчатого профілю показана на рис.2.79. Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

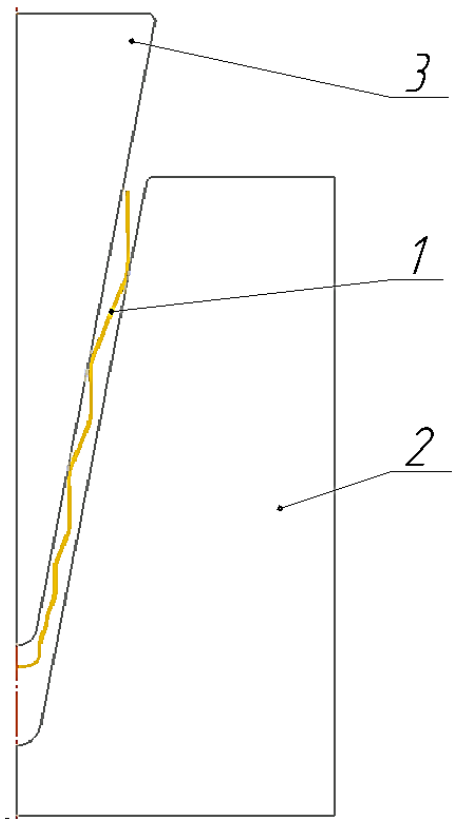


Рис.2.79. Схема калібрування багатоступінчатого профілю деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.80 показано результат моделювання калібрування багатоступінчатого профілю.

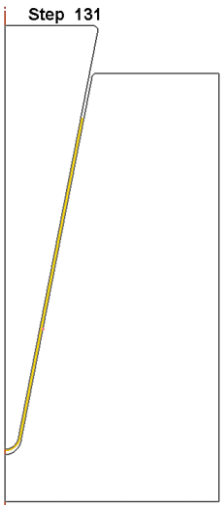


Рис.2.80. Результат калібрування багатоступінчатого профілю деталі «Обтічника».

Інтенсивність деформації процесу калібрування показано на рис.2.81. Як бачимо з розподілу, найбільші деформації виникають у місцях розпрямлення «сходинок». Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}194 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

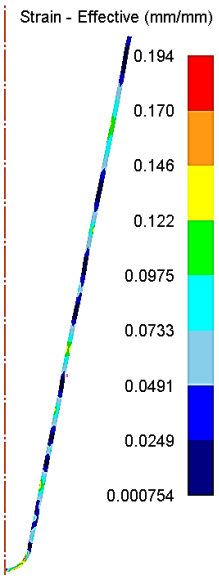


Рис.2.81. Розподіл інтенсивності деформації на операції калібрування.

На рис.2.82 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham операції калібрування. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місцях розпрямлення «сходинок» та біля дна. Максимальне

значення критерію руйнування на даному переході – 0,220, що є прийнятним.

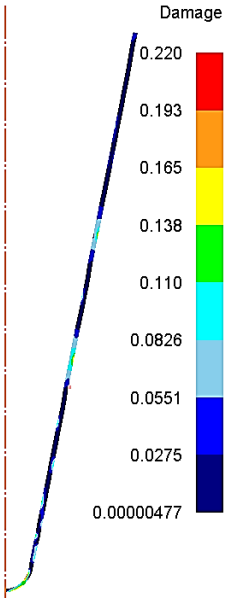


Рис.2.82. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на операції калібрування.

На рис.2.83 показано графік залежності зусилля від переміщення на операції калібрування. Як бачимо, зусилля сягає максимуму в 16,4 кН, при проходженні пуансоном робочого шляху 13,1 мм.

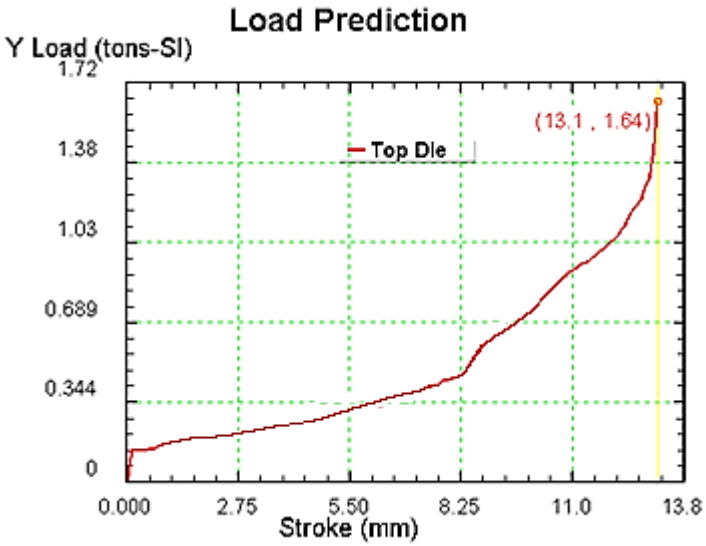


Рис.2.83. Графік залежності зусилля від переміщення на операції калібрування.

Схема отримання кута 10˚ (рис.2.1) на багатоступінчатому профілі показана на рис.2.84. Вихідна заготовка (1) встановлюється у матрицю (2) та деформується під дією пуансона (3).

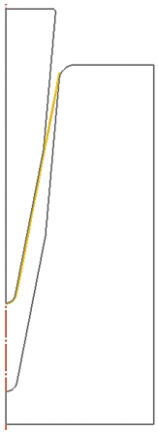


Рис.2.84. Схема отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі деталі «Обтічник»: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон.

На рис.2.85 показано результат моделювання отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі.

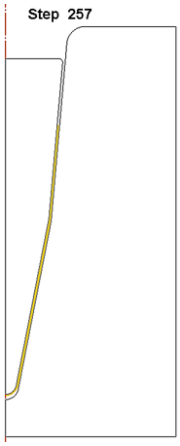


Рис.2.85. Результат моделювання отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі.

Інтенсивність деформації процесу отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі показано на рис.2.86. Як бачимо з розподілу, найбільші деформації виникають у місці формування кута 10˚. Максимальне значення інтенсивності деформації складає $\varepsilon_i = 0{,}231 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$.

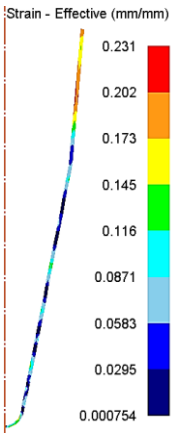


Рис.2.86. Розподіл інтенсивності деформації на операції отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі.

На рис.2.87 показано значення критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham процесу отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі. Як бачимо, руйнування найбільш вірогідне у місцях формування кута 10˚ та біля дна. Максимальне значення критерію руйнування на даному переході – 0,220, що є прийнятним.

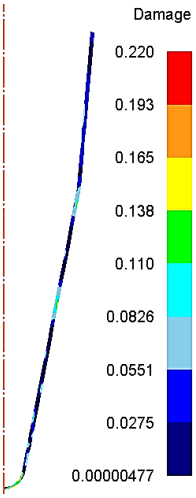


Рис.2.87. Розподіл критерію руйнування Normalized Cockcroft-Latham на операції отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі.

На рис.2.88 показано графік залежності зусилля від переміщення на операції отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі. Як бачимо, зусилля сягає максимуму в 7,5 кН, при проходженні пуансоном робочого шляху 25,7 мм.

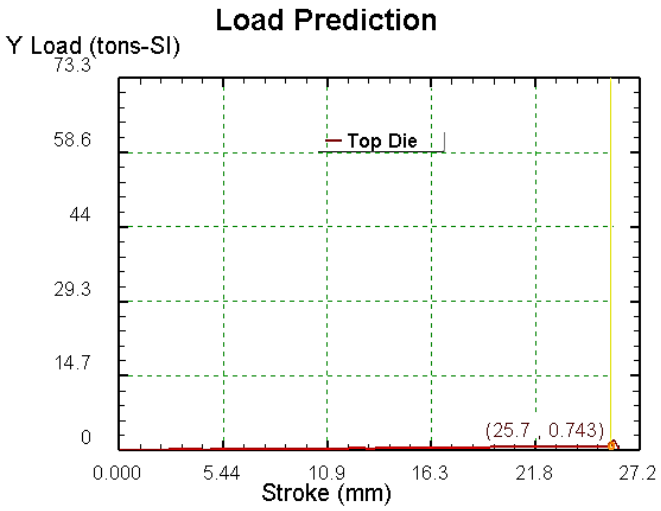


Рис.2.88. Графік залежності зусилля від переміщення на операції отримання кута 10˚ на багатоступінчатому профілі.

Деталь з отриманими після моделювання розмірами показано на рис.2.89.

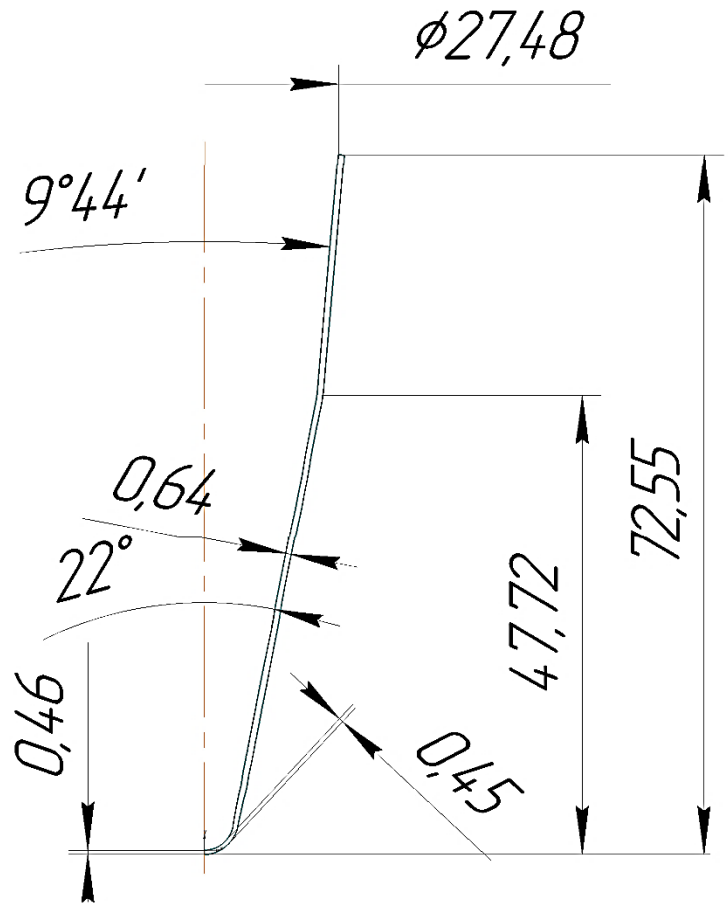


Рис.2.89. Розміри, отримані після моделювання деталі «Обтічник».

Висновки до другого розділу

За результатами моделювання було визначено оптимальну технологію для отримання заданої деталі «Обтічник», а саме багатоопераційне витягування та обтискування багатоступінчатого профілю з подальшим калібруванням. Також було визначено оптимальні режими термічної обробки заготовки між операціями та переходами. Було розглянуто ще дві технології виготовлення деталі «Обтічник», проте, за результатами моделювання, їх було визначено недієвими для даної конкретної деталі.

3. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ

За допомогою технологічних даних, отриманих при моделюванні процесу, було спроектовано наступне штампове оснащення: витяжний штамп для другого переходу витягування без потоншення напівфабрикату типу стакан та витяжний штамп для першого переходу конічного витягування.

3.1. Конструювання штампу для другого переходу витягування без потоншення

Для процесу другого переходу витягування без потоншення при моделюванні були отримані такі дані: зусилля пуансона та початкова і кінцева геометрії заготовки.

Зазори та радіуси заокруглення пуансону та матриці приймаємо як і попередньо, за п. 2.3.

Робочі розміри пуансона та матриці встановлюємо за розрахованими зовнішнім та внутрішнім діаметрами заготовки на другому переході, оскільки це проміжна операція [7, с. 286]:

$$\mathrm{D_м} = {d_2}^{+\delta_м} = 33{,}18^{+0{,}04} \text{ мм} \quad (3.1)$$

де d_2 – зовнішній діаметр другого переходу витягування без потоншення, мм, $d_2 = 33{,}18$ мм (п.2.3);

$\delta_п$ – допуск на розмір пуансона за 8-им квалітетом, мм, $\delta_п = 0{,}04$ мм.

$$\mathrm{D_П} = (\mathrm{D_м} - 2z)_{-\delta_п} = (33{,}18 - 2 * 0{,}65)_{-0{,}04} = 31{,}88_{-0{,}04} \quad (3.2)$$

де $\delta_п$ – допуск на розмір пуансона за 8-им квалітетом, мм, $\delta_п = 0{,}04$ мм;

$z = 0{,}65$ мм – односторонній зазор з п.2.3.

Для знімання готового напівфабрикату з пуансона використовуємо радіально-гачковий знімач на пружині за [6, с. 402]

Щоб забезпечити точне співпадання верхньої частини верху штампу з нижньою частиною штампу, обираємо блок з направляючими колонками та втулками. Щоб забезпечити вільний доступ до робочої зони штампу, використаємо блок з осьовим розміщенням колонок. (рис. 3.1).

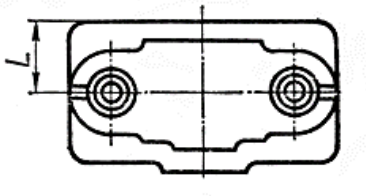


Рис. 3.1. Схема блоку з осьовим розміщенням колонок.

Колонки та втулки для даного штампу обираємо ступінчаті. За ГОСТ 13126-83, беручи до уваги габарити пакету (125 × 125), знаходимо розміри необхідного блоку. Номер обраного блоку: 1004-4924. Верхня та нижня плити за ГОСТ 13113-83 та позначення колонок і втулок.

- нижня плита – 1004-4924/001 (заготовка 1022-4703), верхня плита – 1004-4924/002 (заготовка 1022-4702).
- З ГОСТ 13119-81 колонки – 1030-8431 і 1030-8442;
- З ГОСТ 13121-81 втулки – 1032-3011 і 1032-3045.

Штамп для другого переходу витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату показано на рис.3.2.

На нижній плиті (2) встановлена плита проміжна (5), на яку встановлена матриця (4). Вони кріпляться до нижньої плити (2) гвинтами (11) і штифтами (19). В проміжній плиті (5) знаходиться знімач (6), який приводиться у дію пружиною (7), яку фіксує упор (8). До верхньої плити (1), за допомогою штифтів (18) та гвинтів (12), кріпиться пуансонотримач (9) в який запресований пуансон (3). Для унеможливлення зминанню верхньої плити (1), між пуансонотримачем (6) та верхньою плитою (1) встановлена підкладна плита (9). Для знімання заготовки з пуансона передбачено

радіально-гачковий на пружині механізм знімання, що складається з знімача (6), пружини (7) та упора (8).

За допомогою хвостовика (18), верхня плита (1) приєднується до повзуна преса по перехідній посадці. Від провороту у верхній плиті (1), хвостовик (18) за допомогою установчого гвинта (11).

Для спрямування руху верхньої плити (1) відносно нижньої (2) встановлені у штамп направляючі колонки (16,17) і направляючі втулки (14,15). Направляючі колонки (16,17), що запресовані в нижню плиту (2), та направляючі втулки (14,15), що запресовані у верхню плиту (1).

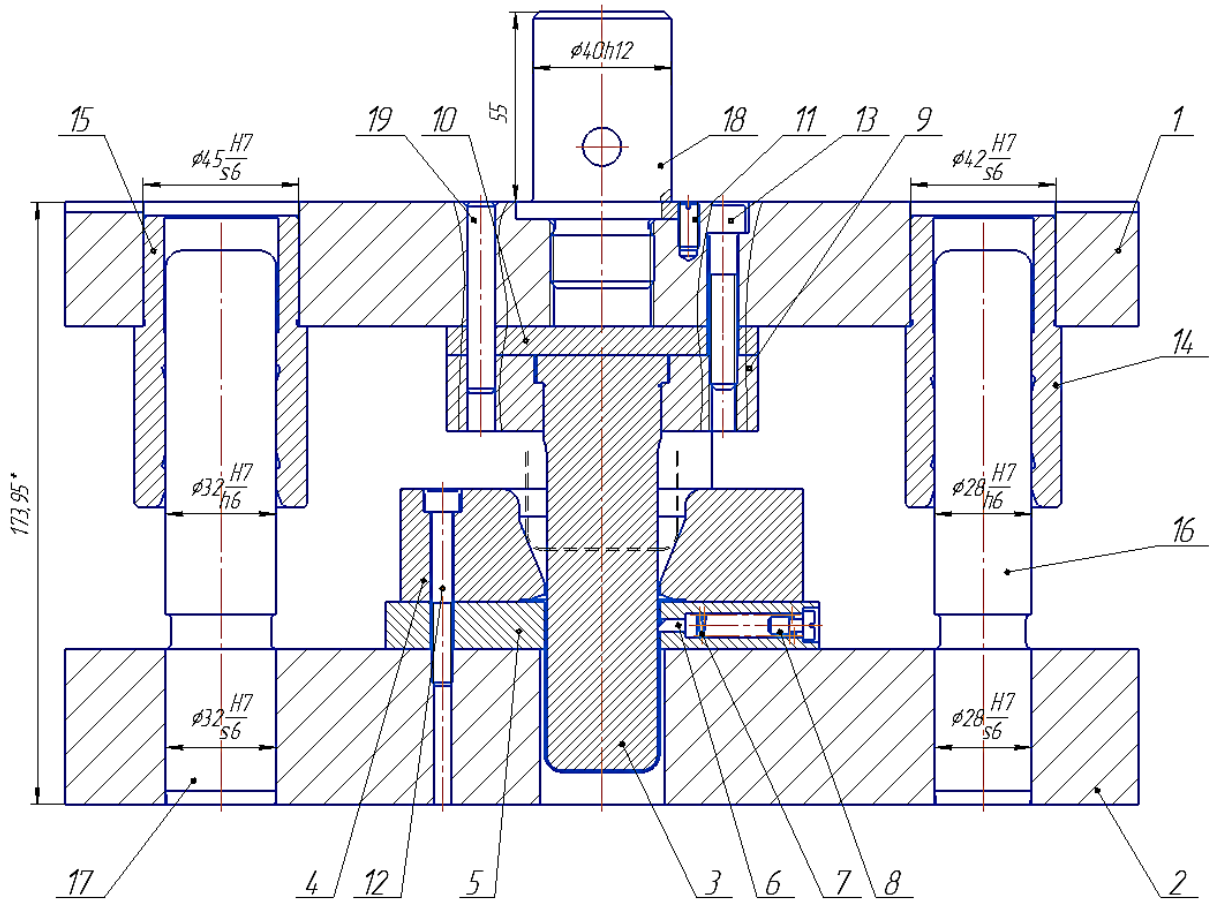


Рис.3.2. Загальний вигляд штампу для другого переходу витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату.

Робота штампу: за верхнього положення повзуна преса пуансон (3) розміщується над матрицею. За допомогою пінцета заготовка фіксується у

матриці (4). Під час робочого ходу здійснюється витягування напровал без потоншення циліндричної заготовки пуансоном (3) у порожнину матриці (4). При зворотньому ході пуансона, спрацьовує радіально-гачковий знімач на пружині (6,7,8) і через готовий напівфабрикат падає в отвір підштампової плити.

Даний штамп встановлюється на прес КД2122Г [4, ст.28]. Основні характеристики: зусилля номінальне – 160 кН, закрита висота – 280 мм, габарити стола – 560×420, провальній отвір у столі – 100 мм. Габарити штампу, що розглядається – 310×175, тому вважаємо, що встановити штамп на обраний прес можливо.

Перевіряємо розрахунком закриту висоту штампу для другого переходу витягування циліндричного напівфабрикату.

За номінальної закритої висоти на прес можна встановити штамп з максимальною висотою [4,ст.22]:

$$H_{max} = 280 - 75 + \frac{(71 - 5)}{2} = 238 \text{ мм}$$

де, H = 280 мм – закрита висота пресу;

- $H_{пл}$ = 75 мм – товщина плити підштампової;
- h_{max} = 71 мм, h_{min} = 5 мм – найбільший і найменший хід;

При номінальній закритій висоті на стіл преса може бути встановлений штамп з найменшою висотою[4,ст.22]:

$$H_{min} = 280 - 75 - 55 = 150 \text{ мм}$$

де $\Delta_ш$ = 55 мм – величина регулювання положення за рахунок розгвинчування гвинта шатуна (регулювання закритої висоти пресу).

Закрита висота штампу $H_{шт}$ має знаходитись у проміжку між найбільшою H_{max} і найменшою H_{min} закритою висотою пресу.

$$H_{min} \leq H_{шт} \leq H_{max} = 150 \text{ мм } \leq H_{шт} = 173{,}95 \ \leq 238 \text{ мм}$$

де, $H_{шт} = 173{,}95$ мм – закрита висота штампу для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

Як бачимо, даний штамп може бути встановлений на обраний прес КД2124Г.

Знаючи прес, на який встановимо штамп, оберемо хвостовик. Діаметр хвостовика є рівним до діаметра отвору в повзуні преса, $D_{хв}=D_{пв}=40$ мм. За ГОСТ 16717-71 обираємо хвостовик 1034-0723.

Основні характеристики обраного пресу наведені в табл.3.1.

Таблиця 3.1. Прес однокривошипний відкритий простої дії:

Параметри	
• Номінальне зусилля, кН;	160
• Хід поковзня, мм;	5…71
• Число ходів за хвилину:	
- Безперервних;	160
- Одиночних.	30
• Найбільша відстань між столом та поковзнем в його нижньому положенні, мм;	280
• Діаметр провального отвору в підштамповій плиті, мм;	100
• Діаметр центрального отвору у повзуні пресу, мм;	40
• Товщина підштампової плити, мм;	75
• Розміри стола, мм;	560×420
Технологічна робота за цикл, кДж.	0,48

3.2. Конструювання штампу для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю

Для процесу другого переходу конічного витягування при моделюванні були отримані такі дані: зусилля пуансона та початкова і кінцева геометрії заготовки.

Зазори та радіуси заокруглення пуансону та матриці приймаємо як і попередньо, за п. 2.6.

Робочі розміри пуансона та матриці встановлюємо за розрахованими зовнішнім та внутрішнім діаметрами заготовки на другому переході, оскільки це проміжна операція [7, с. 286]:

$$\mathrm{D_м} = {d_2}^{+\delta_м} = 14{,}18^{+0{,}03}\ \text{мм} \qquad (3.3)$$

де d_2 – зовнішній діаметр другого переходу витягування без потоншення, мм, $d_2 = 14{,}18$ мм (п.2.6);

$\delta_п$ – допуск на розмір пуансона за 8-им квалітетом, мм, $\delta_п = 0{,}03$ мм.

$$\mathrm{D_П} = (\mathrm{D_м} - 2z)_{-\delta_п} = (14{,}18 - 2 * 0{,}65)_{-0{,}04} = 12{,}88_{-0{,}03} \qquad (3.4)$$

де $\delta_п$ – допуск на розмір пуансона за 8-им квалітетом, мм, $\delta_п = 0{,}043$мм;

$z = 0{,}65$ мм – односторонній зазор з п.2.6.

Визначаємо висоту буферу за величиною робочого ходу. Після того, як буфер встановлюється в штамп, він має бути попередньо стиснутим. Попередня деформацію стискання $e = 5\%$ [8, ст.109]. Далі визначаємо деформацію буфера під час притискання заготовки до пуансона, $e = 25\%$ [8, с. 107]. Складаємо систему рівнянь і з її допомогою знаходимо необхідні висоти буфера за заданими деформаціями. $h_р = 28$ мм – хід пуансона (рис. 2.50). H_1 – висота буферу при попередньому стисненні. H_2 – висота буферу під час притискання заготовки. H_0 – початкова висота буферу.

$$\begin{cases} H_1 = 0{,}95 \cdot H_0 \\ H_2 = 0{,}75 \cdot H_0 \\ H_1 - H_2 = h_{\text{р}} \end{cases} \quad (3.5)$$

$$0{,}95 \cdot H_0 - 0{,}75 \cdot H_0 = h_{\text{р}}$$

$$0{,}2 \cdot H_0 = h_{\text{р}}$$

$$H_0 = \frac{h_{\text{р}}}{0{,}15}$$

$$H_0 = \frac{28}{0{,}2} = 140 \text{ мм}$$

$$H_1 = 0{,}95 \cdot 140 = 133 \text{ мм}$$

$$H_2 = 0{,}75 \cdot 140 = 105 \text{ мм}$$

Розіб'ємо нашу висоту $H_0 = 140$ мм на 4 кільця. Тоді, $h_0 = \frac{140}{4} = 35$ мм. Товщина одного кільця за ГОСТ 7338-90 складає 35 мм. Попередньо обираємо прес КД2122Г, який має діаметр провального отвору у підштамповій плиті $d_{\text{пл}} = 100$ мм [4, ст.28, табл.2]. Зовнішній початковий діаметр одного кільця буфера складає $d_{10} = 80$ мм. Робимо перевірку на можливість розміщення буферу у здеформованому стані у провальному отворі. Діаметр буфера у здеформованому на 25% стані в порівнянні з діаметром провального отвору:

$$d_{12} = 1{,}25 d_{10} = 1{,}25 * 80 = 100 \text{ мм} \leq 100 \text{ мм} \quad (3.6)$$

Умова виконується, отже розмістити буферний пристрій можливо.

Конструкція буфера передбачає отвори для двох шпильок, діаметр яких приймаємо 10 мм.

Площа буфера розраховується за формулою:

$$F_{\text{б}} = \frac{\pi}{4}(d_{20}^2 - 2d_{10}^2), \quad (3.7)$$

де d_{10} – діаметр однієї шпильки, $d_{10} = 10$ мм;

d_{20} – зовнішній діаметр буфера, $d_{20} = 80$ мм;

$$F_{б} = \frac{\pi}{4} \cdot (80^2 - 2 * 10^2) = 4870 \text{ мм}^2$$

Порахуємо питомий тиск буфера при деформації $\sigma_{ст}$:

$$\sigma_{ст} = \frac{Р_{б}}{F_{б}} \quad (3.8)$$

де $Р_{б}$ – зусилля буфера [6, с. 174]:

$$Р_{пр} = 0{,}25\pi({d_{1сер}}^2 - (d_{2сер} + 2r_{м})^2)q \quad (3.9.)$$

де $d_{1сер} = 18{,}93$ мм – середній діаметр заготовки перед витягуванням;

$d_{2сер} = 13{,}63$ мм – середній діаметр заготовки після витягування;

$r_{м} = 5$ мм – радіус матриці;

$q = 0{,}2$ кгс/мм^2 – середній тиск буфера [6, с. 175].

$$Р_{пр} = 1540 \text{ Н}$$

тоді, $$\sigma_{ст} = \frac{1540}{4870} = 0{,}32 \text{ МПа}$$

За [6, ст.462, рис.367] визначаємо фактичну попередню деформацію стиску буфера. Відношення $\frac{d_{10} - d_{20}}{h_0}$ складає $\frac{80-2*10}{35} = 1{,}7$.

Фактичне значення $e_1 \approx 5{,}5$ %, що несуттєво відрізняється від попередньо обраного значення $e_1 = 5$ %, тому для конструювання буфера приймаємо розміри, визначені вище.

Щоб забезпечити точне співпадання верхньої частини верху штампу з нижньою частиною штампу, обираємо блок з направляючими колонками та втулками. Щоб забезпечити вільний доступ до робочої зони штампу, використаємо блок з осьовим розміщенням колонок. (рис. 3.1).

Колонки та втулки для даного штампу обираємо ступінчаті. За ГОСТ 13126-83, беручи до уваги габарити пакету (125 × 125), знаходимо розміри необхідного блоку. Номер обраного блоку: 1004-4924. Верхня та нижня плити за ГОСТ 13113-83 та позначення колонок і втулок.

- нижня плита – 1004-4924/001 (заготовка 1022-4703), верхня плита – 1004-4924/002 (заготовка 1022-4702).
- З ГОСТ 13119-81 колонки – 1030-5286 і 1030-5346;
- З ГОСТ 13121-81 втулки – 1032-3011 і 1032-3045.

Штамп для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю показано на рис.3.3.

На нижній плиті (2) встановлена плита проміжна (5), на яку встановлена матриця (4). Матриця (4) кріпиться до проміжної плити (5) гвинтами (14 та штифтами (25), а проміжна плита (5) – до нижньої плити (2) гвинтами (16) та штифтами (27). В проміжній плиті (5) знаходиться виштовхувач (6), який приводиться у дію штовхачем (7). Штовхач (7) впирається у буферний пристрій, що складається буферних плит (8), гумових буферів (9) та підкладних кілець (10). Буферний пристрій кріпиться до нижньої плити (2) за допомогою двох шпильок (24). Нижня буферна плита (8) кріпиться на шпильках (24) гайками (19) та шайбами (23).

До верхньої плити (1), за допомогою штифтів (26) та гвинтів (15), кріпиться пуансонотримач (11), в який запресовано пуансон (3). Для унеможливлення зминання верхньої плити (1), між пуансонотримачем (11) та верхньою плитою (1) розташована підкладна плита (12).

За допомогою хвостовика (22), верхня плита (1) приєднується до повзуна преса по перехідній посадці. Від провороту у верхній плиті (1), хвостовик (22) за допомогою установчого гвинта (13).

Для спрямування руху верхньої плити (1) відносно нижньої (2) встановлені у штамп направляючі колонки (20,21) і направляючі втулки

(17,18). Направляючі колонки (20,21), що запресовані в нижню плиту (2), та направляючі втулки (17,18), що запресовані у верхню плиту (1).

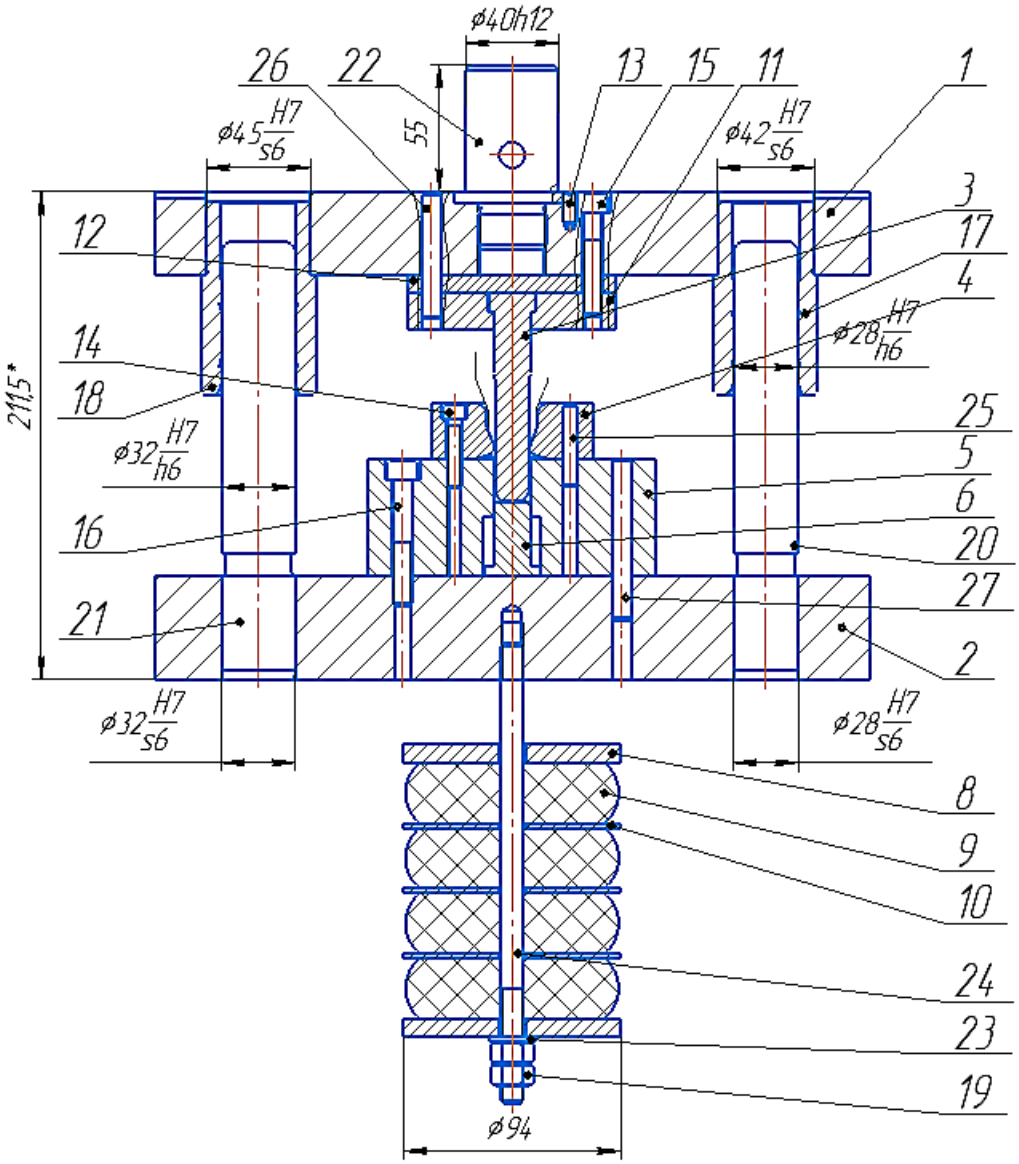


Рис.3.3. Загальний вигляд штампу для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

Робота штампу: за верхнього положення повзуна преса пуансон (3) розміщується над матрицею. Робітник, використовуючи пінцет, фіксує заготовку у матриці (4). Під час робочого ходу здійснюється витягування багатоступінчатого профілю пуансоном (3) у порожнину матриці (4). За зворотнього ходу пуансона діє буферний пристрій і виштовхувач (6)

виштовхує заготовку із порожнини матриці (4). Після закінчення робочого ходу, робітник пінцетом видаляє готовий напівфабрикат.

Даний штамп встановлюється на прес КД2122Г [4, ст.28]. Основні характеристики: зусилля номінальне – 160 кН, закрита висота – 280 мм, габарити стола – 560×420, провальній отвір у столі – 100 мм. Габарити штампу, що розглядається – 310×175, тому вважаємо, що встановити штамп на обраний прес можливо.

Перевіряємо розрахунком закриту висоту штампу для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

За номінальної закритої висоти на прес можна встановити штамп з максимальною висотою [4,ст.22]:

$$H_{max} = 280 - 75 + \frac{(71 - 5)}{2} = 238 \text{ мм}$$

де, Н = 280 мм – закрита висота пресу;

- $H_{пл}$ = 75 мм – товщина плити підштампової;
- h_{max} = 71 мм, h_{min} = 5 мм – найбільший і найменший хід;

При номінальній закритій висоті на стіл преса може бути встановлений штамп з найменшою висотою[4,ст.22]:

$$H_{min} = 280 - 75 - 55 = 150 \text{ мм}$$

де $\Delta_ш$ = 55 мм – величина регулювання положення за рахунок розгвинчування гвинта шатуна (регулювання закритої висоти пресу).

Закрита висота штампу $H_{шт}$ має знаходитись у проміжку між найбільшою H_{max} і найменшою H_{min} закритою висотою пресу.

$$H_{min} \leq H_{шт} \leq H_{max} = 150 \text{ мм} \leq H_{шт} = 211{,}5 \text{ мм} \leq 238 \text{ мм}$$

де, $H_{шт} = 211{,}5$ мм – закрита висота штампу для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю.

Як бачимо, даний штамп може бути встановлений на обраний прес КД2124Г, основні характеристики якого наведені в табл.3.1.

Знаючи прес, на який встановимо штамп, оберемо хвостовик. Діаметр хвостовика є рівним до діаметра отвору в повзуні преса, $D_{хв}=D_{пв}=40$ мм. За ГОСТ 16717-71 обираємо хвостовик 1034-0723.

Висновки до третього розділу

На основі отриманих після моделювання даних було спроектовано штампове оснащення, а саме: штамп для другого переходу витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату та штамп для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю. Також було обране необхідне пресове обладнання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній роботі були розглянуті основні конструкції «обтічників» та їхнє призначення в артилерійських снарядах. Визначено, що обтічники відіграють ключову роль у покращенні аеродинамічних властивостей снарядів, забезпечуючи їх ефективність та точність у важких умовах бойових дій.

Був проведений огляд літературних джерел, де розглядалися основні конфігурації «Обтічників», їх форма, властивості та матеріали для виготовлення.

Було проведено дослідження можливості виготовлення даного «Обтічника» за вже існуючими технологіями та за власною. Виконано моделювання процесів за допомогою програми «Deform 3D» та показано результати. Підібрано необхідні режими термічної обробки як між операціями, так і між переходами. Визначено, що найбільш оптимальною технологією виготовлення даного «Обтічника» за результатами моделювання є багатоопераційне витягування та обтискування з подальшим калібруванням.

На основі даних моделювання було спроектовано штампове оснащення для другого переходу витягування без потоншення циліндричного напівфабрикату та для другого переходу багатоопераційного витягування багатоступінчатого профілю, а також підібрано необхідне пресове обладнання.

Отримані результати моделювання можуть бути використані при подальшій дослідницькій роботі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баллисти́ческий наконе́чник – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://armor.kiev.ua/wiki/index.php?title=%D0%91%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA
2. Конструкция артиллерийских выстрелов: учебное пособие / Ю.В. Генкин, Я.О. Павлов, М.А. Преображенская; Балт. гос. техн. ун-т. - СПб., 2012. - 114 с.
3. Справочник по технологии патронного производства: в 2 т. Т.1 / Под ред. Н.П. Агеева; Балт. гос. техн. ун-т. - СПб., 2011. - 643 с.
4. 30 мм калибр – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/30_%D0%BC%D0%BC_%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B1%D1%80
5. "Modern Exterior Ballistics: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles" by Robert L. McCoy.
6. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние , 1979. – 520 с.
7. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/ Под общ. ред. Л.И. Рудмана – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
8. РТМ 105-0-212-83.
9. Отжиг – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%82%D0%B6%D0%B8%D0%B3

10. Защитные покрытия металлов – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://atf.ru/articles/obzory/zashchitnye-pokrytiya-metallov-kak-i-dlya-chego-oni-sozdayutsya/
11. Защитные покрытия : учеб. пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардонина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
12. ANSYS – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.ansys.com/
13. Abaqus – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/simulia/produkty/abaqus/
14. MSC Nastran – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/NX_CAE
15. COMSOL Multiphysics – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.comsol.com/
16. LS-DYNA – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/LS-DYNA
17. Deform – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.deform.com/products/deform-3d/
18. QForm – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/QForm_2D/3D
19. Семенов Е.И. (ред.) Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах. Том 2.Листовая штамповка – М.: Машиностроение, 1987. – 544 с
20. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія холодного штампування та конструювання штампів» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка спеціалізацій Системи комп’ютерних технологій машинобудування пластичним формоутворенням, Технології композиційних та наноструктурних конструкцій, Технології озброєння та засобів безпеки/ Уклад.: Орлюк

М.В., Вишневський П.С., Піманов В. В., Лавриненков А.Д. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 80 с.

21. Орлюк М.В. Граничні значення критеріїв руйнування при моделюванні процесів витягування в середовищі DEFORM //Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2017. – № 2(45). – С. 22-29. http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_2(45)_2017/article/6.pdf

22. Справочник по оборудованию для листовой штамповки, С74/Л.И. Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; Под общ. ред. Л.И. Рудмана. – К.: Тэхника, 1989. – 231 с.