

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 Лавріненко
«__» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Технологія виробництва літальних апаратів»

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: Розробка технології та оснащення для виготовлення деталі "Втулка"

Виконав:

студент 2 курсу, групи АТ-21мп

Іваниця Василь Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: доц., к.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Злочевська Н.К.

(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 _____

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 «Технологія виробництва літальних апаратів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ

« ____ » _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Іваниця Василь Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Розробка технології та оснащення для виготовлення
деталі "Втулка"»

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Злочевська Наталія Костянтинівна

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2023 р. №5127-с

2. Термін подання студентом дисертації 31.12.2023

3. Об'єкт дослідження процес гарячого зворотного видавлювання з роздачою
порожнистих виробів.

4. Вихідні дані _____ розрахункові схеми процесів.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналіз літературних джерел по
темі дисертації. 2. Моделювання процесу холодного зворотного видавлювання

виробу. 3. Моделювання процесу гарячого зворотного видавлювання виробу.

4. Спроекувати штамп

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу презентація по темі дисертації.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання 01.10.2022

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	31.12.2022	
2	Оформлення першого розділу дисертації	31.12.2022	
3	Проведення розрахункового аналізу методом скінчених елементів	31.12.2022	
4	Оформлення другого розділу	28.06.2023	
5	Оформлення третього розділу	31.08.2023	
6	Оформлення дисертації в цілому	31.12.2023	
7	Захист дисертації	19.01.2024	

Студент

Василь ІВАНИЦЯ

Науковий керівник дисертації

Наталія ЗЛОЧЕВСЬКА

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з 74 сторінок, в тексті зазначено 42 малюнки. В даній атестаційній роботі використано 62 найменування бібліографічних посилань.

Метою роботи є розробити технологію та штампове оснащення для отримання деталі «Втулка».

В дисертаційній роботі проведено літературний огляд джерел. Коротко описані основні способи отримання деталей обробкою металів тиском. Проведено огляд сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень по виготовленню порожнистих виробів гарячим та холодним об'ємним штампуванням. Наведені переваги та недоліки процесів ХОШ та ГОШ.

Проведений аналіз технологічності виробу «Втулка» із сталі 35 можливості його отримання методами ХОШ та ГОШ. Проведений розрахунковий аналіз за допомогою комп'ютерного моделювання формоутворення виробу «Втулка» із сталі 35 методами холодного об'ємного штампування та гарячого об'ємного штампування. На основі проведеного аналізу технологічності і комп'ютерного моделювання вибрати оптимальну технологію виготовлення деталі «Втулка». Було обрано гаряче зворотне видавлювання. Спроектовано штампове оснащення для реалізації прийнятої в результаті технології виготовлення деталі «Втулка».

Ключові слова: технологічний процес, гаряче зворотне видавлювання, холодне зворотне видавлювання, метод скінченних елементів, зусилля видавлювання, напружено-деформований стан, штампове оснащення.

ABSTRACT

The master's thesis consists of 74 pages, with 42 figures embedded in the text. The document includes references to 62 bibliographic sources.

The aim of the thesis is to develop technology and stamping equipment for manufacturing the "Bushing" component.

The literature review in the thesis provides a concise overview of sources, outlining the primary methods for obtaining metal parts through metal forming processes. A survey of the current state of theoretical and experimental research in the production of hollow products via hot and cold bulk forming is conducted. The advantages and disadvantages of Hot Open-Die Forging (HODF) and Hot Closed-Die Forging (HCDF) processes are presented.

An analysis of the manufacturability of the "Bushing" product from steel 35 is carried out, considering the possibilities of obtaining it through HODF and HCDF methods. A computational analysis, utilizing finite element method simulations, is performed to evaluate the formability of the "Bushing" product made of steel 35 through cold and hot bulk forming. Based on the technological analysis and computer modeling, the optimal manufacturing technology for the "Bushing" component is chosen, with hot reverse extrusion being selected.

Stamping equipment is designed to implement the chosen manufacturing technology for the "Bushing" component.

Keywords: technological process, hot reverse extrusion, cold reverse extrusion, finite element method, extrusion force, stress-strain state, stamping equipment.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВТУЛКА»

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1	
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Обробка металів тиском.....	11
1.2 Огляд сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень по виготовленню порожнистих виробів гарячим та холодним об'ємним штампуванням.....	14
1.3 Висновки та постановка задачі дослідження.....	44
РОЗДІЛ 2	
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	46
2.1 Деталь «Втулка» та вибір технології її виготовлення.....	46
2.2 Аналіз технологічності отримання напівфабрикату деталі «Втулка» холодним зворотнім видавлюванням.....	50
2.3 Комп'ютерне моделювання процесу виготовлення напівфабрикату деталі «Втулка» холодним зворотнім видавлюванням в програмному середовищі DEFORM.....	52
2.3.1 Розрахункова схема процесу та задані умови чисельного моделювання.....	52
2.3.2 Результати комп'ютерного моделювання формоутворення напівфабрикату деталі «Втулка» холодним зворотнім видавлюванням.....	54

2.4	Комп'ютерне моделювання процесу виготовлення напівфабрикату деталі «Втулка» гарячим зворотним видавлюванням в програмному середовищі DEFORM.....	57
2.4.1	Розрахункова схема процесу та задані умови чисельного моделювання.....	57
2.4.2	Результати комп'ютерного моделювання формоутворення напівфабрикату деталі «Втулка» гарячим зворотним видавлюванням.....	59
РОЗДІЛ 3		
КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ		63
3.1	Проектування штампу для холодного зворотного видавлювання напівфабрикату деталі «Втулка».....	63
3.2	Основні деталі штампу.....	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....		68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		69
ДОДАТКИ.....		79
ДОДАТКИ А. СПЕЦИФІКАЦІЇ.....		80
Специфікація до штампу для холодного зворотного видавлювання деталі «Втулка».....		81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МСЕ – метод скінченних елементів

НДС – напружено-деформований стан

САПР – система автоматизованого проектування

ХОШ – холодне об'ємне штампування

ГОШ – гаряче об'ємне штампування

T – температура

V – швидкість переміщення пуансона

μ – коефіцієнт тертя

σ_i – інтенсивність напружень

σ_n – нормальні напруження

σ_z – осьові напруження

σ_θ – тангенціальні напруження

σ_r – радіальні напруження

ε_i – інтенсивність деформацій

ε_z – осьові деформації

ε_θ – тангенціальні деформації

ε_r – радіальні деформації

ВСТУП

Актуальність теми. Штампування, як технологічний процес обробки заготовок, виготовлених з металу, дозволяє отримати готові вироби плоского або об'ємного типу, що відрізняються як своєю формою, так і розмірами. Як робочий інструмент при виконанні штампування може виступати штамп, закріплений на пресі або обладнанні іншого типу.

Штампування є одним із основних процесів обробки металів тиском (ОМТ), який полягає в пластичному деформуванні заготовки чи напівфабрикату в спеціальному технологічному обладнанні – штампах.

Головними перевагами штампування є формоутворення без зняття стружки (маловідходний процес), висока точність виробів та висока продуктивність праці, що забезпечується можливістю простої механізації, автоматизації чи роботизації.

Тому тема дисертаційної роботи, яка направлена на розробку технології та штампового оснащення для виготовлення деталі «Втулка» є **актуальною**.

Об'єкт дослідження: деталь «Втулка».

Предмет дослідження: технологічний процес виготовлення та штампове оснащення деталі.

Мета дисертаційної роботи: Використовуючи комп'ютерне моделювання розробити технологію та штампове оснащення для отримання деталі «Втулка».

Задачі дослідження:

1. Провести літературний огляд. Виконати огляд сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень по виготовленню порожнистих виробів гарячим та холодним об'ємним штампуванням. Навести переваги та недоліки процесів ХОШ та ГОШ.

2. Провести аналіз технологічності виробу «Втулка» із сталі 35 можливості його отримання методами ХОШ та ГОШ.

3. Провести розрахунковий аналіз за допомогою комп'ютерного моделювання формоутворення виробу «Втулка» із сталі 35 методами холодного об'ємного штампування та гарячого об'ємного штампування.

4. На основі проведеного аналізу технологічності і комп'ютерного моделювання вибрати оптимальну технологію виготовлення деталі «Втулка».

5. Спроекувати штампове оснащення для реалізації прийнятої в результаті технології виготовлення деталі «Втулка».

Методи дослідження: використання основних положень теорії обробки металів тиском для вибору оптимальної схеми видавлювання, та використання програмного пакету DEFORM для моделювання процесу штампування.

Наукова новизна одержаних результатів :

1. Досліджено вплив кінцевих геометричних параметрів деталі із сталі 35 на можливість його отримання холодним штампуванням.

2. Проведено розрахунковий аналіз отримання порожнистої деталі із сталі 35 методами холодного та гарячого об'ємного штампування.

Практичне значення отриманих результатів: за результатами проведеної роботи під серійне виробництво було розроблено технологію та штампове оснащення для виготовлення деталі «Втулка» із сталі 35.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Обробка металів тиском.

Процес штампування, що становить технологічний метод обробки металевих заготовок, дозволяє отримати готові вироби плоскої чи об'ємної форми з визначеними характеристиками форми та розмірів. При виконанні штампування основним робочим інструментом може бути штамп, що кріпиться до пресу або іншого обладнання.

Штампування, є ключовим процесом обробки металів тиском (ОМТ), і полягає у пластичному деформуванні заготовок чи напівфабрикатів за допомогою спеціального технологічного обладнання, такого як штампи [1].

Основними перевагами штампування є можливість формоутворення без видалення стружки, висока точність виробів та велика продуктивність праці. Це досягається завдяки можливості простої механізації, автоматизації чи роботизації процесу, що зменшує відходи та підвищує ефективність.

Залежно від температурних умов виконання, штампування металу поділяється на гаряче та холодне. Ці два види технології передбачають використання різного обладнання та дотримання специфічних технологічних стандартів.

У гарячому штампуванні заготовки піддаються нагріванню до температури кування, в той час як в холодному штампуванні вони залишаються при температурі нижче кування. Холодне штампування характеризується високим опором металу штамповочному тиску та значно меншою текучістю матеріалу, що обмежує можливість виготовлення складних форм деталей. За цим видом обробки стоїть ризик високого опору та обмеженої формоутворюючої спроможності матеріалу.

Незважаючи на це, холодне штампування має переваги перед гарячим методом, такі як відсутність термічних модифікацій, відсутність усадки при охолодженні та низький ризик утворення гарячих тріщин [2].

На рис. 1.1 показано деякі типові деталі, які отримуються при об'ємному штампуванні.



Рисунок 1.1 – Типові деталі, що отримуються об'ємним штампуванням

Точність створення поверхонь при холодному об'ємному штампуванні (ХОШ) є порівнянною з точністю при обробці металів різанням. Однак після застосування ХОШ уникають концентраторів напружень, таких як риски чи царапини. Це пояснює, чому методи холодного об'ємного штампування використовуються для виготовлення високоточних та високонавантажених деталей, наприклад, шарових опорів підвіски автомобілів (рис. 1.2), колінчастих валів ДВЗ, або деталей втулок несучих гвинтів вертольоту.



Рисунок 1.2 – Шарова опора підвіски автомобіля

За допомогою гарячого штампування з листового металу різної товщини виготовляють відповідальні деталі, такі як днища котлів та інші вироби у формі півсфер, корпусні елементи і інші компоненти, які використовуються у суднобудуванні.

При холодному штампуванні металевих деталей процес формування виробу відбувається лише за рахунок тиску, що здійснюється робочими елементами преса на заготовку. Оскільки заготовки в холодному штампуванні не нагріваються перед процесом, вони не піддаються усадці. Це дозволяє створювати готові вироби, які не потребують подальшого механічного оброблення. Тому цей метод розглядається як не лише більш зручний, але і економічно вигідний спосіб обробки.

Якщо правильно визначити розміри та форму заготовок і ефективно розкрити матеріал, можна значно зменшити витрати, особливо для підприємств, що виробляють продукцію великими серіями. Щодо матеріалу, заготовки можуть бути виготовлені не лише з вуглецевої або легованої сталі, але також з алюмінієвих і мідних сплавів. Крім того, обладнаний відповідно

штампувальний прес успішно використовується для обробки заготовок із гуми, шкіри, картону, полімерних сплавів [3].

Основними рекомендованими методами для виробництва порожнистих вісесиметричних деталей є застосування процесів штампування. Процеси штампування мають численні переваги, включаючи мінімізацію витрат матеріалу, високу продуктивність і можливість швидкої заміни інструменту.

Щодо типу заготовок, які використовуються в штампуванні, цей процес поділяється на листове і об'ємне штампування. Листове штампування використовує листове тіло як заготовку, в той час як об'ємне штампування базується на об'ємній заготовці.

Холодне штампування виконується при температурі нижче температури рекристалізації заготовки, у той час як гаряче штампування відбувається при температурі вищій за температуру рекристалізації [4].

Виробництво порожнистих вісесиметричних деталей за допомогою штампування часто включає такі процеси, як витягування та видавлювання. Детальніший опис процесів холодного та гарячого, листового та об'ємного штампування можна знайти у різноманітній літературі [5-12].

1.2. Огляд сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень по виготовленню порожнистих виробів гарячим та холодним об'ємним штампуванням.

У дослідженні [13] автори представили комплекс взаємопов'язаних рівнянь для в'язко-пластичної деформації та пошкодження, специфічних для гарячого штампування та холодного гартування деталей панелі з матеріалу АА6082. Ці рівняння можна використовувати для передбачення в'язко-пластичного потоку та втрати пластичності умовах гарячого формування.

У статті [14] автори проаналізували вплив коефіцієнта тертя на глибоке витягування алюмінієвого сплаву АА6111 при підвищених температурах,

використовуючи аналіз кінцевих елементів та експериментальний підхід. Результати вказують на суттєвий вплив змащення на режим руйнування сформованої деталі, і визначено оптимальний коефіцієнт тертя, який склав 0,15. Зауважено високу збіжність між експериментальними і модельованими результатами.

У дослідженні [15] зазначено, що завдяки застосуванню високошвидкісного формування за допомогою сервопреса та зменшенню контакту з матрицею та заготовкою за допомогою розпірок товстіших за лист, поліпшено процес штампування надвисокоміцної сталі.

В експериментальних дослідах [16] щодо теплового зворотного витягування алюмінієвого сплаву 5A06 при зміні температури, вивчено вплив температурного градієнта на деформаційну поведінку. Результати показують збільшення коефіцієнта розрідження на куті пуансона зі зменшенням градієнта температури, вказуючи, що збільшення градієнта температури може зменшити розрідження.

У дослідженні [17] автори визначили три ключові параметри процесу глибокого витягування - температуру заготовки, радіус дуги та швидкість штампування - для аналізу характеристик глибокого витягування алюмінієвого листа 7075. Застосування методу скінченних елементів та аналізу Тагучі дозволило врахувати вплив цих параметрів на процес. Використання програмного забезпечення DEFORM 2D для ортогонального масиву сприяло моделюванню. Результати, отримані з прогнозування деформації глибоко витягнутої чашки, та аналізу дисперсійного тесту (Anova) вказали на великий вплив температури заготовки на формуваність алюмінієвого матеріалу, а також на швидкість штампування та радіус дуги штампа.

У роботі [18] вивчалось вплив температури нагрівання на формуваність та зміцнення розчину, обробленого сплавом Al – Mg – Si. Експерименти включали одноосьове випробування на розтягування, глибоке витягування та

випробування на випинання при різних температурах від 25 до 500 °С. Результати показали, що деформація руйнування та гранична висота опуклості значно зростали при піднятті температури до 400 °С. Граничний коефіцієнт витягування збільшувався при підвищенні температури до 200 °С, але потім зменшувався. Твердість змінювалась з підвищенням температури, з двома піковими значеннями при 200 і 500 °С. Максимальна твердість може бути 115 HV. Однак утворення грубих осадів призвело до зменшення твердості при температурах від 250 до 450 °С. Оптимальна формованість та міцність досягалися при 200 та 500 °С, відповідно, що робило ці температури ідеальними для гарячого штампування.

У роботі [19] досліджено вплив структури зерна/текстури алюмінієвого листа AA3014-H19, отриманого внаслідок гарячого вальцювання, на подальше витягування чашки.

В експериментах [20] виготовляли циліндричну частину методом формування гарячого газу та вивчали сформованість листа Ti-22Al-24.5Nb-0.5Mo. Результати показали, що деталі можуть бути сформовані з невеликим радіусом нижнього кута 4 мм із зовнішнім діаметром 60 мм і глибиною 20 мм. Максимальний коефіцієнт витончення становив 56,3% біля малого кута.

У статті [21] надано огляд стану сучасних процесів гарячого штампування, включаючи загартованість, сформованість, нагрівання та охолодження, змащування, а також описано механізм формування та загартування, аналіз процесів гарячого штампування та його застосування.

На основі вимог до деталей, що формують, в роботі [22] запропоновано новий метод глибокого витягування з незалежним радіальним тиском для конічної чашки з тонкостінного алюмінієвого сплаву 5A06. Досліджували вплив гідравлічних шляхів навантаження та співвідношення радіального тиску на розподіл товщини стінки за допомогою чисельного моделювання. Результати дослідів показали, що розумне збіг тиску в камері рідини та

незалежного радіального тиску може ефективно стримувати появу тріщин на дні конуса та дефектів внутрішньої зморшки в конічній ділянці стінки деталі.

Автори в роботі [24] використали програмне забезпечення ABAQUS / Standard для опису процесу глибокого нагрівання круглої чашки з магнієвого сплаву AZ31B. Результати моделювання показали зростання граничного відношення витягування із збільшенням температури формування, підтверджуючи експериментальні результати.

У роботі [23] описано гаряче штампування надвисокоміцних сталей та їх охолодження в матриці водою. Вода утримується в нижній матриці для збільшення швидкості охолодження під час загартування матриці, а також локальне стоншення навколо кута пуансона запобігало гартуванню водою та штампом, підвищуючи витягування.

У дослідженнях [25] порівнювали механічні властивості радіальної зворотної екструзії та традиційної зворотної екструзії для виготовлення деталей у формі чашки. Вони показали, що радіальна зворотна екструзія типу С забезпечує краще очищення зерна та більш рівномірний розподіл фази зміцнення, ніж традиційна зворотна екструзія.

Міцність листів, порівняно вища, ніж у стандартних листів вуглецевої сталі, призводить до їх низької спроможності до формування. У дослідях, описаних у джерелі [26], граничний коефіцієнт витягування та поведінка формоутворення листового металу оцінювались через випробування з використанням циліндричної чашки з отвором. Результати свідчать, що граничні значення висоти чашки знаходяться в залежності від граничних значень коефіцієнта витягування для вивчених матеріалів.

У роботі [27] автори описали формування чашкоподібного алюмінію та виробу із магнієвого сплаву за допомогою роторної екструзії.

В джерелі [28] проведено чисельне моделювання отримання циліндричної чашки зі сплаву In718 за допомогою зворотної екструзії з різними параметрами. Вивчено зміну структури зерна в різних областях формування деталі, і результати вказують на те, що найкращі результати можна досягти при використанні екструзії зі сплаву In718 із температурою від 1000 °C до 1050 °C та швидкістю 5 мм/с.

У дослідженні [30] вивчали вплив розміру та форми чашоподібних поковок з фланцем на формотворчу здатність алюмінієвого сплаву. Чисельне моделювання вказує на те, що дефекти формування можуть виникати в кожному алюмінієвому сплаві, і отримані результати є важливими для аналізу технологій та конструкції прес-форм.

В роботі [29] досліджено формування гофрованої чашки за допомогою унікальної матриці, що використовує жолобчасті плечі та сталеві кульки. Експериментальні випробування проводились із використанням комерційної низьковуглецевої сталі SPCC та нержавіючої сталі SUS304.

Високоміцна пластина з алюмінієвого сплаву проявляє низьке подовження при кімнатній температурі. Для вирішення цього недоліку в експериментальних дослідках, що були описані в роботі [31], стандартне середовище було замінено термостійкими твердими гранулами, і застосовано обладнання загального тиску. Результати ефективності передачі тиску від твердого грануляційного середовища свідчать про можливість використання припущення про розширену лінійну модель Друкера-Прагера для аналізу кінцевих елементів. Процес формування за участю гарячих гранул з твердим середовищем розв'язує проблеми завантаження та ущільнення в існуючому процесі гнучкого формування прес-форми і вводить нову технологію термоформування легкосплавних пластин, таких як магнієвий сплав, алюмінієвий сплав та титановий сплав.

У роботі [32] на основі розроблених та протестованих нових установок глибокого витягування запропоновано послідовність процесів для підвищення глибини формування листа марки AA6082. Загальний коефіцієнт витягування склав 3,38. Міцність стінки чашки після формування була оцінена за допомогою випробування мікротвердості Віккерса, і мікротвердість покращилась на приблизно 30%.

У роботі [34] відображено формування гарячим газом із інтегрованою термічною обробкою для вивчення мікроструктури та зміцнення поведінки листа сплаву Al-Cu-Li. Зміцнювальна поведінка була відображена вимірюванням твердості за Віккерсом, і підвищена сформованість і твердість були досягнуті за рахунок швидкого формування гарячого газу в поєднанні з термічною обробкою.

В роботі [33] проведено аналіз впливу поступового глибокого витягування марганцево-борної сталі 22MnB5, використовуючи коливальний рух та одночасне охолодження. Зупинки під час поетапного формування дали час для пом'якшення та відновлення формувальних властивостей. Досліджено поведінку розм'якшення при конкретних температурах формування.

У дослідженні [35] екструзія чашки AA6063 назад була успішно проведена експериментально та теоретично за використання тропічного кокосового масла та касторової олії як мастильних матеріалів. Чисельний аналіз з використанням програмного забезпечення DEFORM 3D підтвердив, що температура зростала зі збільшенням швидкості деформації, і вища швидкість деформації сприяла підвищенню температури як у штампувальній, так і нижній матриці. Крива екструзії навантаження-хід з моделювання відповідала експериментальним результатам.

У роботі [36] автори провели дослідження процесу комбінованого видавлювання деталей з магнієвого сплаву за підвищених температур у штампах із плаваючим робочим інструментом. На рисунку 1.3 представлена

схема такого штампу. За допомогою комп'ютерного моделювання в системі QFORM виконано аналіз кінематики течії матеріалу при його пластичній деформації в штампі із плаваючим робочим інструментом. Результати чисельних досліджень технологічної схеми штампування заготовки колісного диску, які наведено в роботі, дозволяють визначити оптимальні геометричні параметри формуючої поверхні штампу із плаваючим інструментом. При виборі геометрії ключовими є значення коефіцієнта тертя та сили притиску, що утворюється на плаваючому інструменті – притискачі.

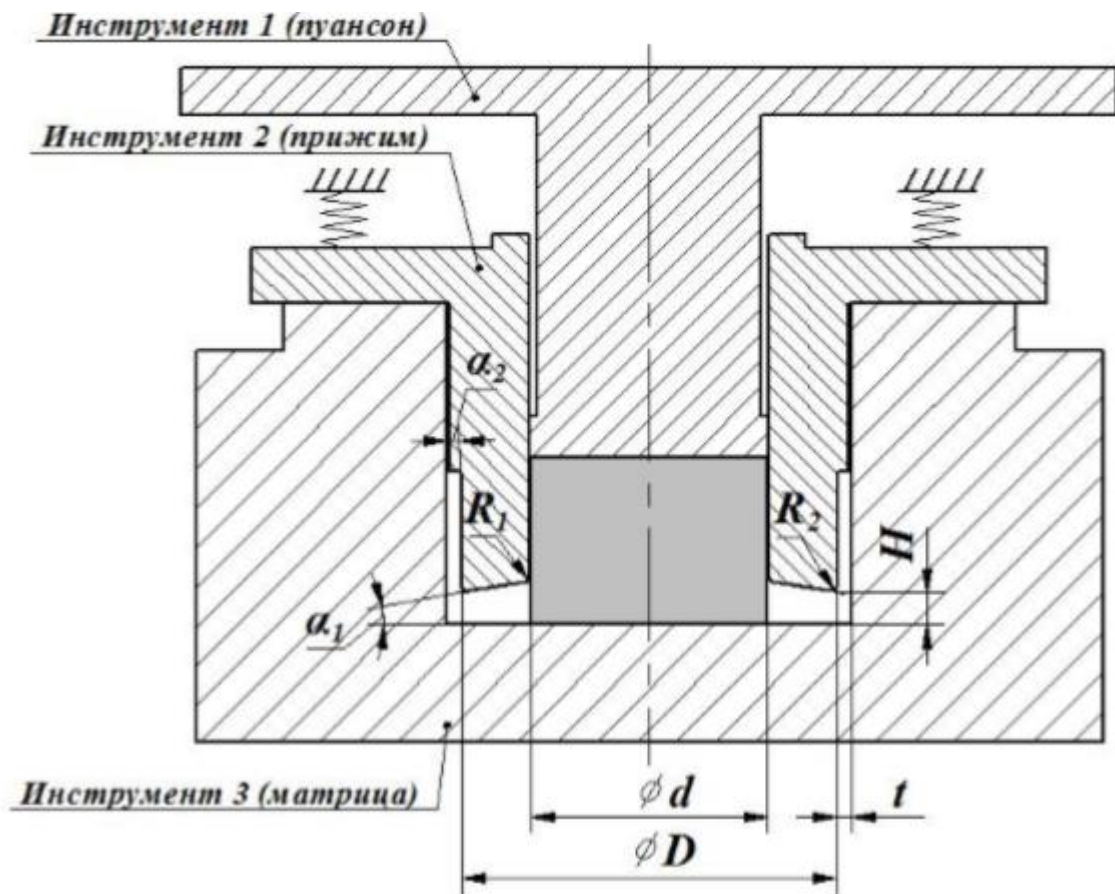


Рисунок 1.3 – Штамп із плаваючим інструментом (схема).

В роботі [37], автори провели дослідження силових параметрів процесу холодного зворотного видавлювання. Був проаналізований вплив технологічних параметрів на силові режими видавлювання латунної заготовки з використанням методу скінченних елементів. В результаті досліджень

встановлено, що із збільшенням ступеня деформації питомі сили також зростають, при цьому інтенсивність цього зростання не перевищує 30%.

У роботі [38] автори визначили силові режими для вилучення пуансонів із деталей після проведення холодного зворотного видавлювання (рис. 1.4,а) та видавлювання з роздачею (рис. 1.4,б). Схеми цих процесів подані на рисунку 1.4 (а, б).

Застосовуючи метод скінченних елементів, було проведено аналіз двох технологічних процесів - холодного зворотного видавлювання та прямого видавлювання з роздачею, застосовуючи конічний пуансон, для порожнистих вісесиметричних виробів із низьковуглецевої сталі. Використана матеріальна модель передбачає пружно-пластичну поведінку з зміцненням. Досліджено кінцеві форми та розміри виробів, залежності між силами видавлювання та переміщеннями пуансону та виштовхувача, а також розподіл напружень на деформуючих інструментах при максимальних зусиллях. Визначено сили виймання пуансонів та сили виштовхування деформованих напівфабрикатів порожнистої вісесиметричної форми з матриці. З'ясовано, що при зворотному видавлюванні із сумісним виштовхуванням пуансона та zdeформованої заготовки у пуансоні виключається розтягуючі напруження. Для прямого видавлювання із роздачею визначено сили піднімання матриці та знімання zdeформованої заготовки із пуансона. Отримані результати надають необхідну інформацію для розробки технологічних процесів холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих деталей різними методами, для проектування штампового обладнання та вибору пресового устаткування.

У дослідженні, зазначеному у роботі [39], були оцінені різноманітні типи змащення в контексті зворотного об'ємного видавлювання, використовуючи мастила від компаній Henkel та Lubrizol. Порівняння проводилося із фосфатованим зразком, який просочувався мильною емульсією.

Автори роботи [40] провели дослідження процесу холодного видавлювання з використанням штампів із диференційованим протитиском порожнин. Схема цього процесу подана на рис. 1.5.

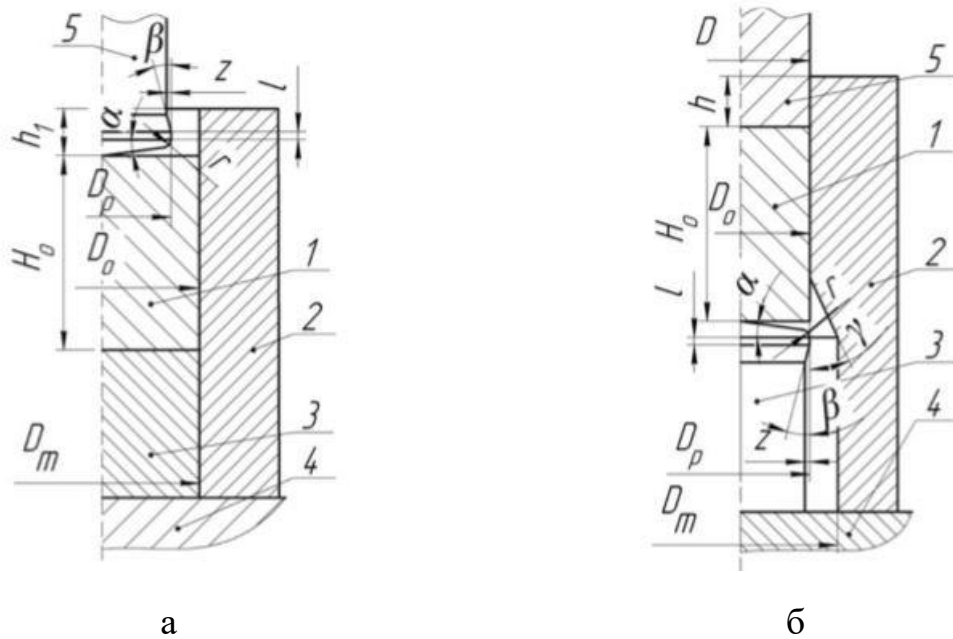


Рисунок 1.4 – Схема процесу:

а – холодного зворотного видавлювання; б – видавлювання з роздачею

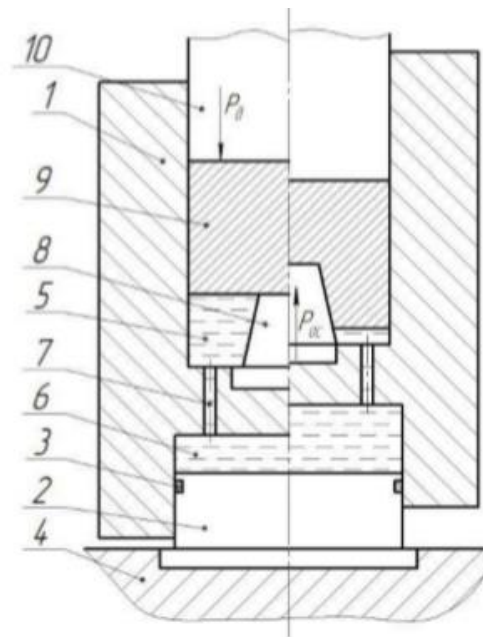


Рисунок 1.5 – Схема процесу холодного видавлювання із протитиском порожнин штампів.

Позначення на рис. 1.5: 1 – контейнер; 2 – опора; 3 – ущільнення; 4 – нижня плита; 5 – канал верхній; 6 – канал нижній; 7 – отвори; 8 – майстер-пуансон; 9 – встановлена заготовка; 10 – пуансон.

Отже, у даному дослідженні застосовано інженерний метод, враховуючи ефекти тертя та зміцнення, для отримання залежностей, які дозволяють розраховувати напруження на контактних поверхнях заготовки та інструменту, а також сили видавлювання порожнин сферичним пуансоном. За допомогою комп'ютерного моделювання, базованого на методі скінчених елементів, були проведені чисельні експерименти, що включали видавлювання сферичним пуансоном порожнини в заготовці із сталі Р6М5 в умовах дії протитиску. Отримано наступні результати:

- визначено необхідний максимальний протитиск, забезпечуючи видавлювання без руйнування;
- виміряно зусилля процесу;
- розподілено напруження на деформуючому інструменті;
- оцінено напружено-деформований стан;
- визначено ступінь використання ресурсу пластичності металу;
- отримано кінцеві розміри отворів виробів.

Додатково було проведено експериментальне видавлювання порожнин сферичним пуансоном в заготовках із сталі Р6М5.

У роботі [41] було проведено аналіз силових параметрів процесу холодного зворотного видавлювання, використовуючи метод скінчених елементів (МСЕ) з використанням програмного забезпечення DEFORM. Дослідження проводилося на пруткових заготовках з латуні діаметром 16,15 мм та висотою 9,18 мм, при ступені деформації 0,66.

У роботі [42] досліджено якість отриманих заготовок та проведено прогноз ресурсу пластичності у процесі зворотного видавлювання. Розглянуті деформаційні критерії металів, які не викликають руйнування, та використані

для оцінки ресурсу пластичності. У роботі представлені межі застосування різноманітних критеріїв, а також подано приклад розрахунку граничної формозміни в процесі зворотного видавлювання. Графік ресурсу пластичності та розподіл частини дефектів у напівфабрикаті показані на рис. 1.6 і рис. 1.7 відповідно.

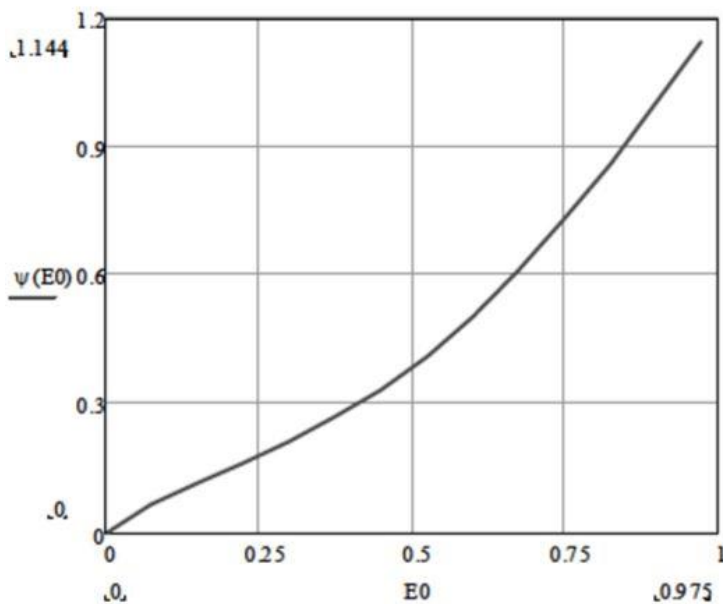


Рисунок 1.6 – Ресурс пластичності в процесі зворотного видавлювання

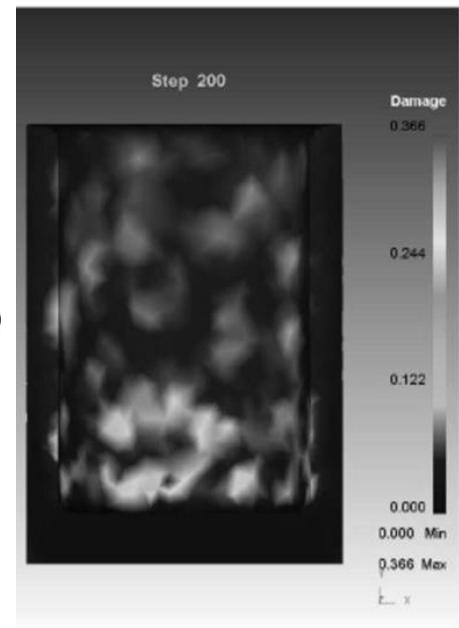


Рисунок 1.7 – Розподіл частини дефектів у здеформованому напівфабрикаті

Автори у роботі [43] здійснили комп'ютерне моделювання еволюції мікроструктури у процесі зворотного видавлювання. Вони детально описали різновиди еволюції мікроструктури та використали модель Джонсона-Менла-Аврамн-Колмогорова, яка є одним із методів для моделювання кінетики рекристалізації. Моделюванням охоплено процес зворотного видавлювання стакана з циліндричної заготовки діаметром 24 мм та висотою 20 мм, використовуючи сталь AL 1100 як матеріал. У ході моделювання було

визначено розподіл зерен мікроструктури на початковій (рис. 1.8,а), середній (рис. 1.8,б) та завершальній стадіях (рис. 1.8,в).

Також були визначені розподіл та графіки технологічних параметрів на завершальній стадії процесу зворотного видавлювання.

У висновку автор прийшов до висновку, що використання моделі ЖМАК (Джонсона-Менла-Аврамн-Колмогорова) дозволяє передбачати мікроструктуру в процесі видавлювання, що в свою чергу дозволяє отримувати вироби з певними властивостями. Відзначено, що статична і метадинамічна рекристалізація має обмежений вплив порівняно з динамічною, яка грає ключову роль і визначає кінцевий розмір зерна в більшій мірі. Хоча модель ЖМАК не здатна моделювати фазові перетворення, точність її прогнозів є досить високою.

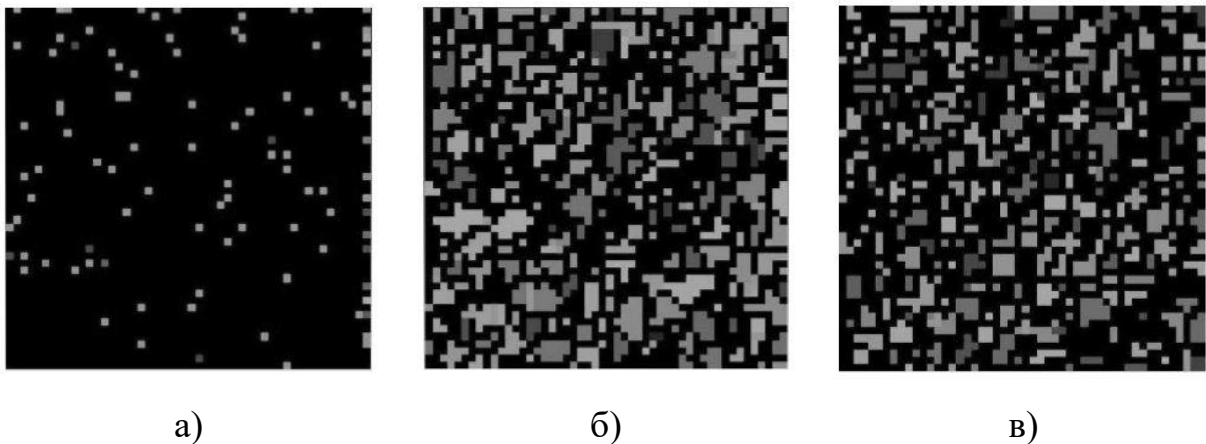


Рисунок 1.8 – Розподіл мікроструктури:

а – на початковій стадії; б – на середній стадії; в – на завершальній стадії

Автор у роботі [44] виконав моделювання процесу холодного зворотного видавлювання, засноване на методі скінчених елементів (МСЕ), в програмному комплексі DEFORM-3D. Були виявлені переваги МСЕ використання DEFORM-3D для розрахунку параметрів напружено-деформованого стану (НДС), порівняно з методом розрахунку за методикою вимірювання координат

центральної точки координатної сітки при деформації на реальних зразках в аналогічних умовах. Матеріалом для заготовок слугувала сталь 10.

На рис. 1.9 зображено процес формозміни напівфабрикату в програмному комплексі DEFORM-3D на різних кроках. На рис. 1.10 показаний цей процес формозміни напівфабрикату в реальних умовах із застосуванням нанесення сітки.

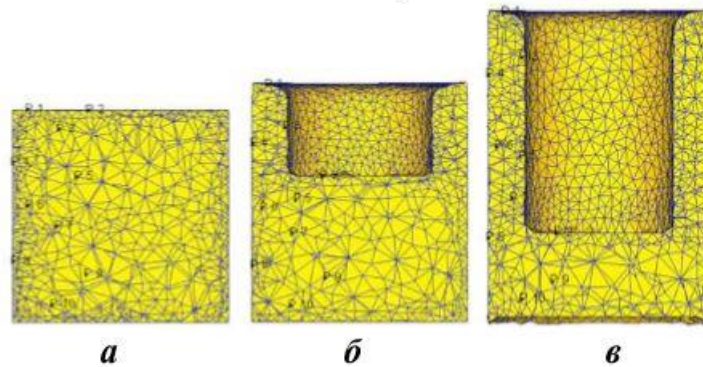


Рисунок 1.9 – Процес формозміни напівфабрикату зворотним видавлюванням в програмі DEFORM-3D:

а – до деформації; б – на кроці 30; в – на кроці 60 (в кінці деформації)

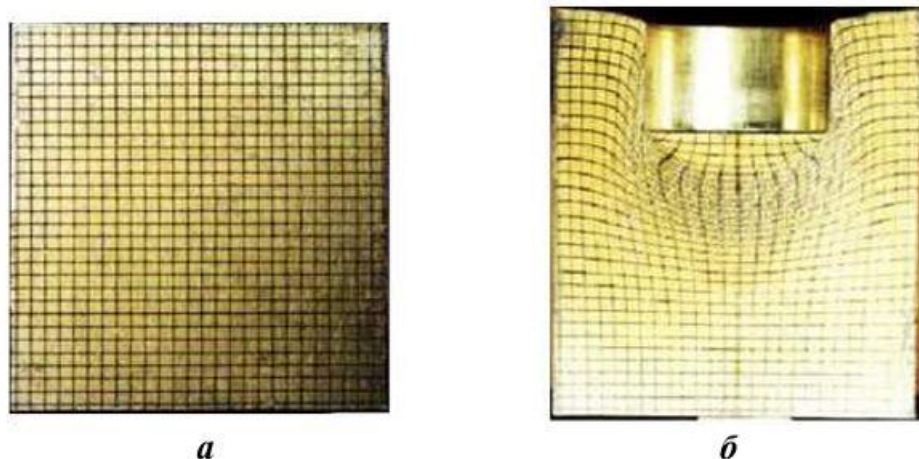


Рисунок 1.10 – Процес формозміни напівфабрикату зворотним видавлюванням в реальних умовах і нанесеною на нього сіткою:

а – до деформації зворотним видавлюванням; б – в процесі деформації зворотним видавлюванням

На рис. 1.11 показаний розподіл інтенсивності деформації здеформованого зворотним видалюванням зразка (в площині меридіонального перерізу). На рис. 1.12 показаний розподіл інтенсивності напружень здеформованого зворотним видалюванням зразка (в площині меридіонального перерізу).

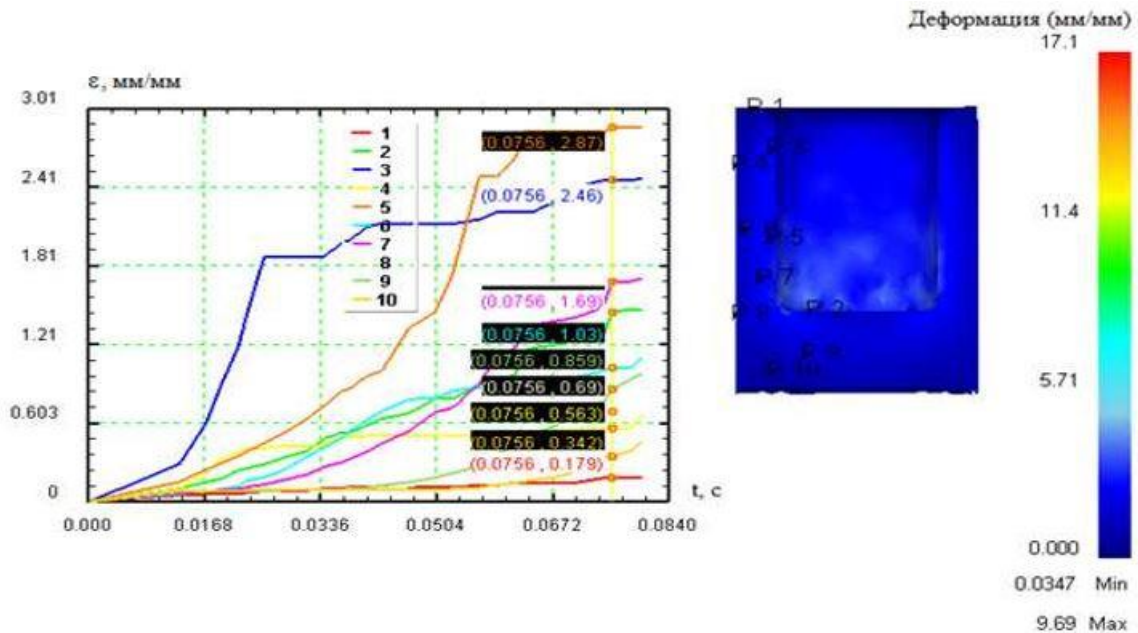


Рисунок 1.11 – Розподіл інтенсивності деформації здеформованого зразка

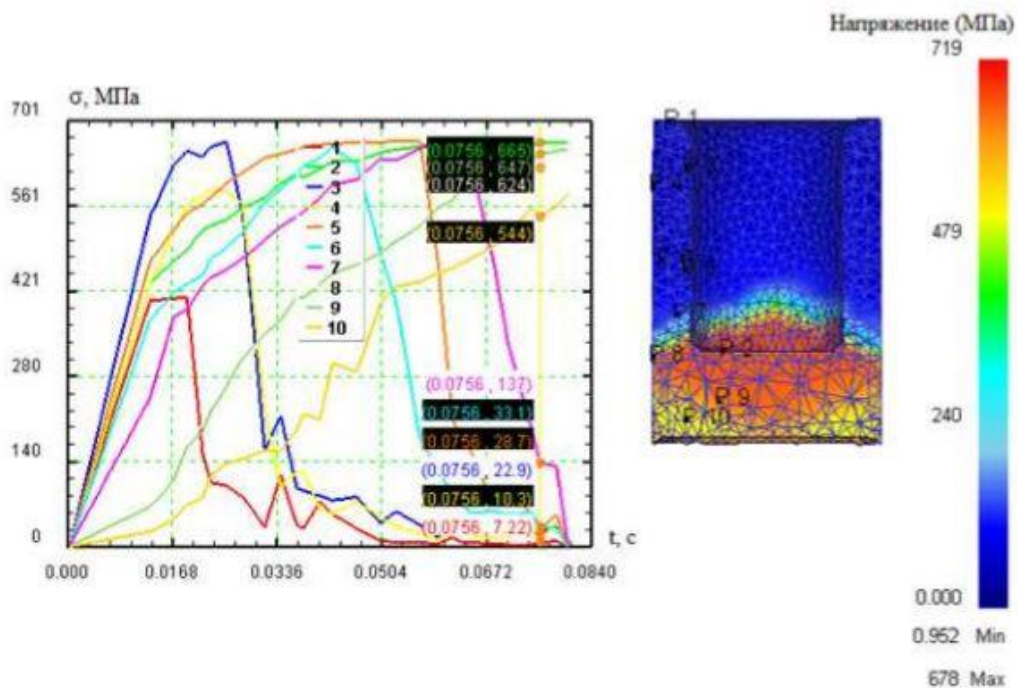


Рисунок 1.12 – Розподіл інтенсивності напружень здеформованого зразка

Невелика різниця (10-12%) між експериментальними та розрахунковими значеннями зусиль видавлювання, отриманими як за методикою сіток, так і за методом скінчених елементів (МСЕ) при однакових умовах, підтверджує надійність результатів розрахунку напружено-деформованого стану (НДС).

У підсумку можна визначити наступні висновки:

1. Застосування програм МСЕ для аналізу дозволяє вирішувати різні проблеми, пов'язані з обробкою металів деформацією (ОМД), включаючи розрахунки обладнання, інструментів, оцінку економічної ефективності тощо. Комп'ютерні розрахунки спрямовані на визначення параметрів НДС в усіх точках матеріалу заготовки на кожному етапі деформації. Результати таких розрахунків можуть відповісти на питання, пов'язані з прогнозуванням можливого руйнування заготовки, контролем якості деталей та іншими аспектами.

2. Використання МСЕ для вивчення процесу зворотного видавлювання дозволяє розраховувати велику кількість варіантів. Оптимальні сценарії, за необхідності, можна досліджувати з використанням будь-якого експериментального методу. Важливість такого підходу полягає в можливості уникнути матеріальних та часових витрат на створення реальної технічної оснастки та впровадження технології, а в окремих випадках – відмовитися від непродуктивних чи неефективних технологічних процесів.

3. Сучасне програмне забезпечення відкриває широкі можливості для використання існуючих та розробки нових моделей матеріальної поведінки та типів кінцевих елементів. Наявність вбудованого мови програмування значно полегшує взаємодію з цими програмами, що робить їх використання подібним до створення власного програмного забезпечення. Ключовою умовою успішного використання обчислювально-інженерних систем для розрахунку технологічних процесів ОМД є вимога до точності результатів комп'ютерного моделювання, яка повинна відповідати реальним умовам процесу.

В роботах [45, 46] авторами наведено результати чисельного комп'ютерного моделювання отримання вісесиметричного порожнистого виробу методами ХОШ у програмному комплексі Deform (рис. 1.13) і QForm (рис. 1.14).

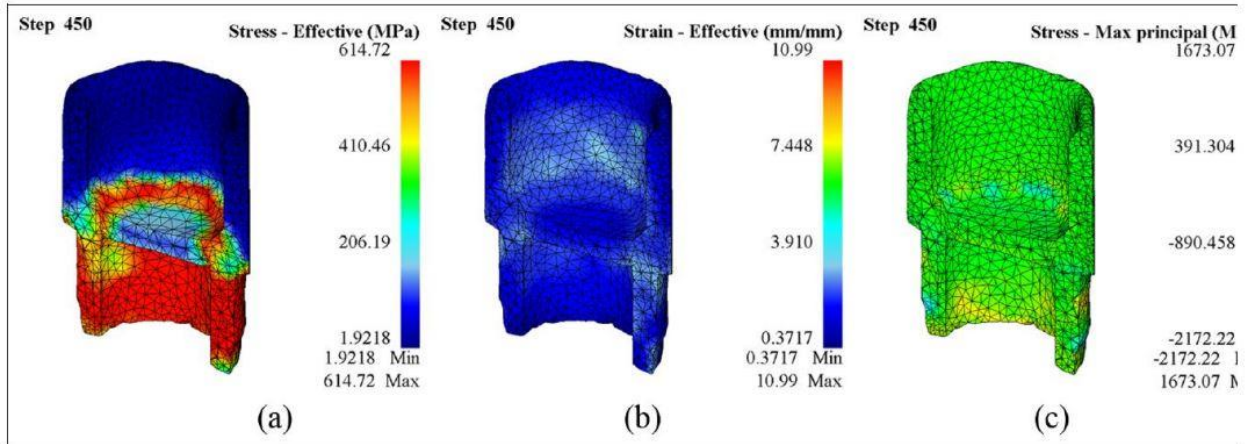


Рисунок 1.13 – Результати комп'ютерного моделювання формоутворення виробу з порожнинами в DEFORM.

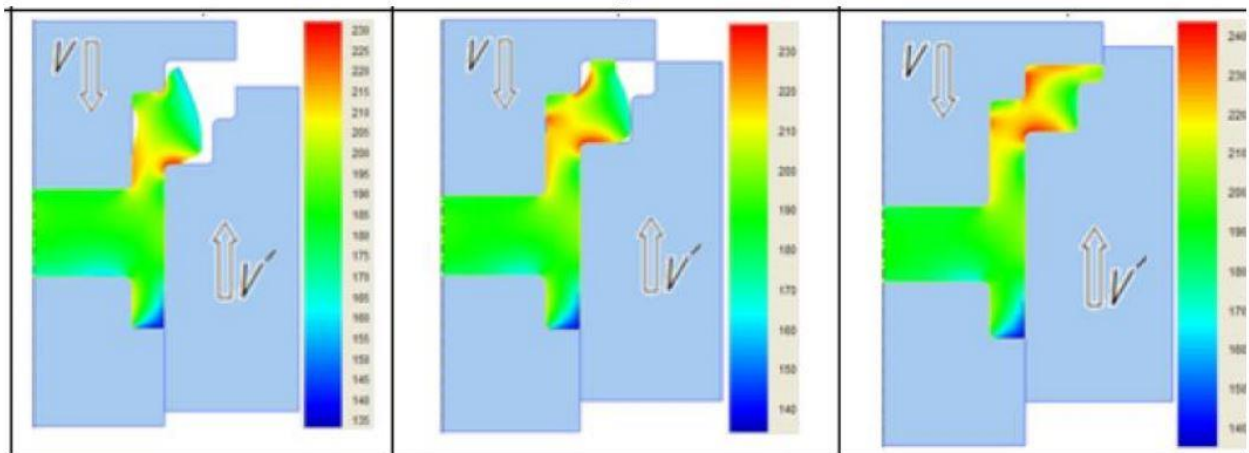


Рисунок 1.14 – Результати комп'ютерного моделювання формоутворення виробу з порожнинами в QFORM.

Характеристика процесів холодного видавлювання визначається високим гідростатичним тиском, що виникає внаслідок деформації заготовки в замкнутому просторі. Підвищення гідростатичного тиску призводить до

збільшення пластичності матеріалу, зменшення опору деформації, але, в той же час, суттєво збільшує величину питомих зусиль у процесі [26].

Отже, переваги холодного об'ємного штампування включають:

- високий коефіцієнт використання матеріалу;
- можливість виготовлення складних елементів деталей із підвищеною міцністю і жорсткістю;
- отримання високоякісних і конкурентоспроможних деталей;
- висока продуктивність процесів;
- взаємозамінність штампованих деталей і деталей штампів;
- можливість автоматизації і механізації технологічних процесів.

Недоліки процесу холодного об'ємного штампування включають:

- складні умови роботи інструменту, що веде до його швидкого зношування;
- високі витрати на проектування і виготовлення штампового обладнання;
- значний час, витрачений на підготовку виробництва.

На діаграмі на рис. 1.15 показано взаємозв'язок між стійкістю інструменту та питомими зусиллями у процесі холодного об'ємного штампування. Значення питомих зусиль на інструменті повинні бути мінімізованими, що є особливо важливим у випадку масового виробництва виробів.

Процеси гарячого об'ємного штампування (ГОШ) дозволяють виготовляти вироби складної форми, майже з такими самими коефіцієнтами використання матеріалу, що і при холодному об'ємному штампуванні. Порожністі вироби можна отримати шляхом гарячого видавлювання у відкритих або закритих штампах. Типово, процеси ГОШ включають підготовчі етапи, саме штампування та завершальні операції, такі як обрізання облою та видалення окалини.

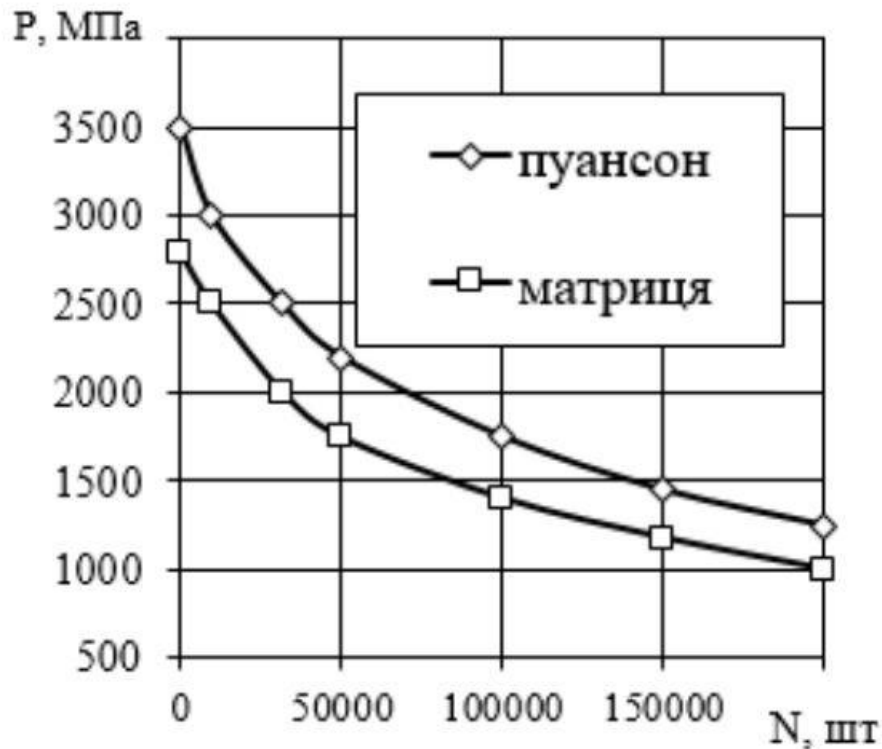


Рисунок 1.15 – Залежність стійкості інструменту від величини питомих зусиль при ХОШ.

Процес гарячого зворотного видавлювання має аналогічну схему до холодного штампування. Виков формується шляхом видавлювання металу з порожнини штампу. Цей метод має численні переваги, такі як універсальність, можливість отримання точного викову з неточної заготовки та високу ефективність виробництва порожнистих виробів. Проте, для завершення процесу необхідні додаткові операції, такі як зняття окалини та обрізання облою. Крім того, цей метод не забезпечує високу точність, яка характерна для холодного видавлювання.

Можна визначити наступні переваги гарячого об'ємного штампування:

- висока продуктивність порівняно з куванням і обробкою різанням.
- здатність отримання виробів складної конфігурації.
- низька вимога до кваліфікації робітника.

- мінімальні припуски для механічної доробки готових виробів.

Процес гарячого об'ємного штампування також має свої недоліки:

- обмеження на максимальну масу готових виробів до 3,5 т (не стосується деталей типу гільз).
- висока вартість деформуючого інструменту.
- потреба у потужному обладнанні через деформацію облою.
- великі енергозатрати для нагрівання заготовки до 800-1200 °С.

Автори в роботі [47] за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ) створили математичну модель в програмі DEFORM та провели аналіз процесу гарячого видавлювання із латуні порожнистого вісесиметричного виробу з виступами у донній частині та необхідним пропрацюванням структури металу у місці переходу стінки у донну частину. На рис. 1.16 показана використана авторами схема зворотного видавлювання з роздачою в рухомій матриці, в якій діаметр вихідної заготовки менший від зовнішнього діаметру виробу, а формоутворення його при цьому проходить при зменшеному зусиллі [2].

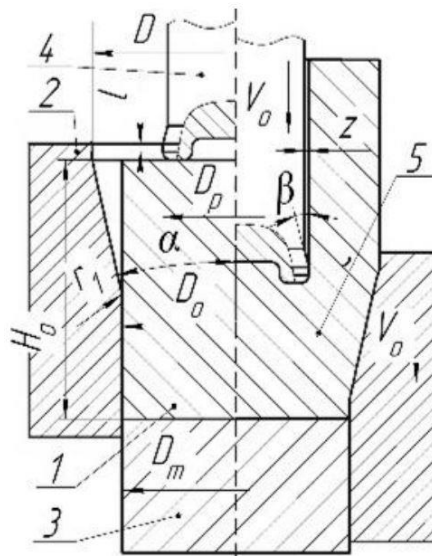
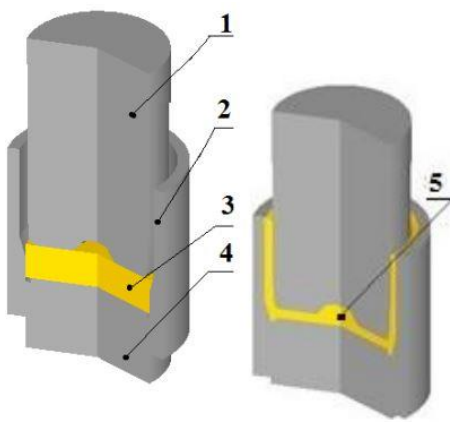


Рисунок 1.16 – Схема видавлювання з роздачею в рухомій матриці:

1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – виштовхувач; 4 – пуансон; 5 – виріб

Ліворуч від вісі симетрії показаний вихідний стан, праворуч – в процесі зворотного видавлювання. Вихідну заготовку 1 встановлюють в рухомій матриці 2 на виштовхувачі 3. Деформування заготовки 1 здійснюють за допомогою пуансона 4. При зворотному видавлюванні матрицю 2 опускають вниз із однаковою швидкістю V_0 з пуансоном 4. Після процесу видавлювання отримують виріб 5, у якого зовнішній діаметр D більший чим діаметр D_0 вихідної заготовки 1.

Для процесу видавлювання використали циліндричну заготовку із латуні DIN-Cu-Zn28 діаметром $D_0 = 210$ мм і висотою $H_0 = 52$ мм. Коефіцієнт тертя $\mu = 0,2$ та швидкість деформування $V_0 = 40$ мм/с. Температура вихідної заготовки становила 850 °С. Температурний інтервал гарячого видавлювання для такого матеріалу складає $670\text{--}850$ °С. Для забезпечення такого температурного інтервалу на протязі видавлювання необхідний підігрів деформуючого інструменту до 200 °С. При моделюванні застосована пластична модель металу. Розрахункові схеми процесу гарячого зворотного видавлювання на початку та в кінці показано на рис. 1.17.



а б
Рисунок 1.17 – Розрахункові
схеми процесу гарячого
видавлювання:
а – на початку процесу; б – в
кінці процесу

Пуансон 1 встановлений в матриці 2 на заготовці 3, яка розміщена на виштовхувачі 4. При одночасному опусканні пуансона 4 і матриці 2 отримується виріб 5.

Встановлені форма пуансона і матриці, що забезпечили необхідне пропрацювання zdeформованого металу у потрібному місці ($\epsilon_i \geq 1,5$). Визначені кінцеві форма і розміри виробу. Була встановлена залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона (максимальне зусилля становить $0,74$ МН в кінці процесу видавлювання) та точний розподіл питомих зусиль на

контактуючих поверхнях заготовки з деформуючим інструментом для проектування штампового оснащення, а також встановлений напружено-деформований стан (НДС) у здеформованій заготовки при максимальному зусиллі видавлювання. Показані етапи формоутворення виробу та зміна розподілу температури під час процесу видавлювання. Наведені розподіли компонент напружень та деформацій у всьому об'ємі заготовки. Оцінка просочення структури металу під впливом пластичної деформації проводилася за розподілом інтенсивності деформацій.

У роботі [48] проведено аналіз процесу гарячого штампування порожнистого виробу із маловуглецевої сталі, зосереджуючись на інтенсивному пропрацюванні пластичною деформацією стінки і донної частини виробу, що складається з двох переходів. На першому етапі застосовано зворотне видавлювання для отримання порожнистого напівфабрикату з виступами на донній частині, які розташовані в напрямку порожнини та на нижньому торці цієї частини. На другому етапі використано витягування з потоншенням через дві послідовно розташовані матриці та доштампування для формування кінцевої форми та розмірів виробу.

У роботі були визначені швидкість деформування та підігрівання деформуючого інструменту для забезпечення температурного інтервалу гарячого штампування протягом обох етапів. На кожному етапі оцінені зусилля та розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті. Проаналізовано пропрацювання структури металу під впливом пластичної деформації, використовуючи величину інтенсивності деформацій. Встановлені ступені деформації для виконання витягування з потоншенням. Подані розподіли температури здеформованого металу після видавлювання та витягування, а також розподіли інтенсивності деформацій у напівфабрикаті після видавлювання, внаслідок виконання витягування та у виробі після доштампування донної частини. Виділено більш рівномірний розподіл

інтенсивності деформацій по ширині стінки внаслідок витягування з потоншенням. Підкреслено кінцеву форму та розміри виробу (рис. 1.18).

У роботі [49] досліджено вплив трьох ключових параметрів процесу глибокого витягування, а саме температури заготовки, радіуса дуги та швидкості штампування, на характеристики глибокого витягування алюмінієвого листа 7075. Автори використали поєднання методу скінченних елементів та аналізу Тагучі для визначення впливу цих параметрів на процес.

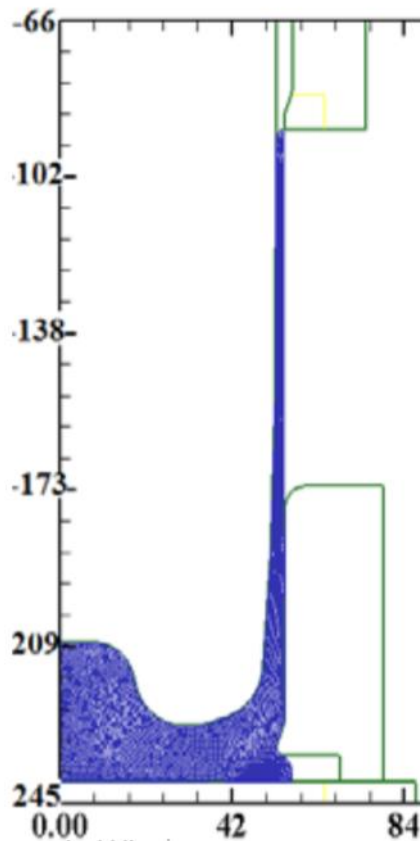


Рисунок 1.18 – Кінцеві форма та розміри виробу після гарячого видавлювання та послідуного витягування з потоншенням

Моделювання було виконано з використанням ортогонального масиву за допомогою програмного забезпечення DEFORM 2D. На підставі прогнозованої деформації глибоко витягнутої чашки та результатів аналізу дисперсійного тесту (Anova) виявлено, що температура заготовки має найбільший вплив на

формування алюмінієвого матеріалу, а також на швидкість штампування та радіус дуги штампа.

У джерелі [50] проведено чисельне моделювання отримання циліндричної чашки з сплаву In718 за допомогою зворотної екструзії з різними параметрами. Досліджено зміну структури зерна в різних областях формування деталі. За результатами дослідження встановлено, що отримання більш дрібного та рівномірного розміру зерна можливе при температурі від 1000 (°C) до 1050 (°C) та швидкості екструзії 5 (мм/с) для циліндричної чашки сплаву In718.

У дослідженні [51] автори використали програмне забезпечення Deform3D для відображення важливості його використання у процесі отримання деталей з потрібними габаритними розмірами та фізико-механічними властивостями. Процес моделювання зворотного видавлювання був детально описаний в статті [52], включаючи використання рухомого контейнера для видавлювання деталей. Розглянуто інформацію про напружено-деформований стан матеріалу. Експерименти проводилися у програмному комплексі DEFORM, де використовувалася модель матеріалу БрБ2 з механічними властивостями, отриманими шляхом розтягування зразка.

У дослідженні були використані зразки діаметром 60 мм з товщиною дна на кінці 2 та 5 мм. Приведені графіки зусиль процесу в залежності від переміщення інструменту, а також проведено порівняння отриманих результатів з теоретичними розрахунками за методами Дмитрієва О.М. та Овчинникова О.Г.

В роботі [53] був проведений аналіз процесу гарячого зворотного видавлювання в програмі QFORM. Розрахунки були здійснені з метою визначення течії металу заготовки, її напруженого стану і формозміни в процесі деформування. У визначенні вихідних даних враховувались

геометричні параметри заготовки, температури, граничні умови та швидкість переміщення пуансона.

У роботі [54] детально розглядався процес зворотного видавлювання за допомогою схеми із зворотнім рухом контейнера. Отримані результати були порівняні з результатами моделювання в DEFORM 3D. Для експериментів використовували заготовки зі сталі 60, отримані напівфабрикати діаметром 36 мм і 60 мм. Результати обох випадків були відображені у графіках та порівняні з результатами, розрахованими за методами Овчинникова О.Г. і Шофмана Л.А.

У дослідженні [55] за допомогою МСЕ автори дослідили вплив швидкості деформування на процес гарячого зворотного видавлювання з осаджуванням у високовуглецевій сталі для порожнистого вісесиметричного виробу з виступом на торці донної частини (рис. 1.19).

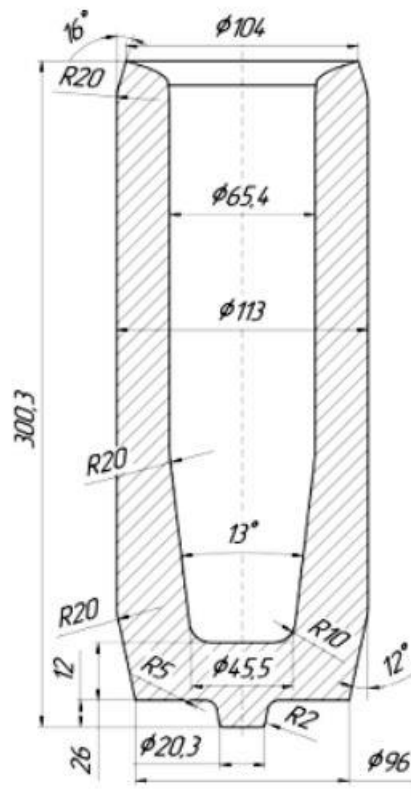


Рисунок 1.19 – Форма та розміри виробу з виступом на торці донної частини.

Варіювалася швидкість переміщення пуансона від 50 до 400 мм/сек. Здійснено розрахунковий аналіз процесів видавлювання з осаджуванням, вилучення пуансонів із zdeформованих заготовок та виштовхування виробів із матриць (рис. 1.20). Визначені залежності між зусиллям видавлювання та переміщенням пуансона, зусиллям вилучення пуансона та його зворотнім переміщенням, а також зусиллям виштовхування виробу з матриці та переміщенням виштовхувача.

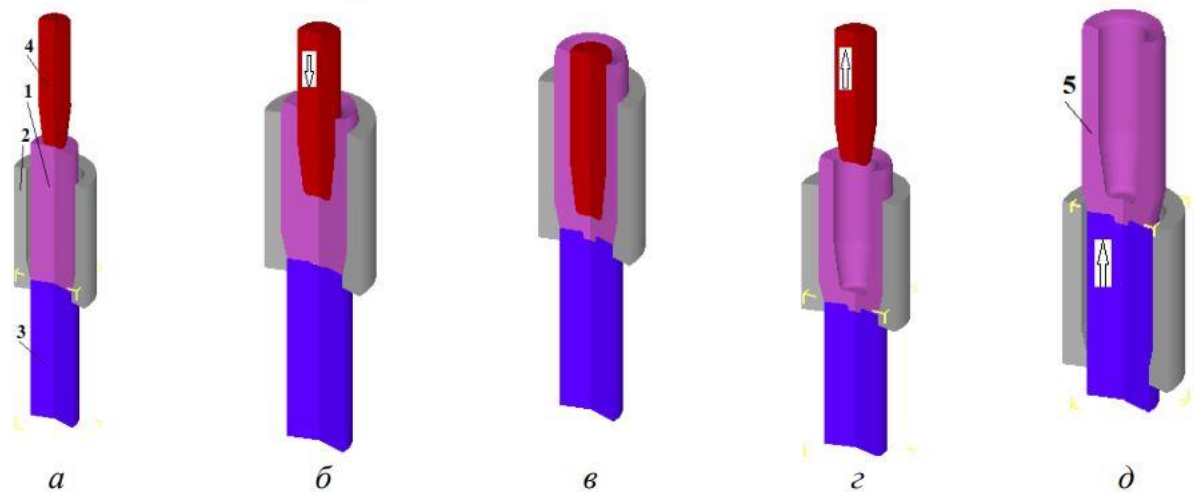


Рисунок 1.20 – Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструмента при видавлюванні з осаджуванням:

а – на початку видавлювання; б – на проміжній стадії видавлювання; в – в кінці видавлювання; г – після виймання пуансона; д – після виштовхування виробу

На основі величин нормальних напружень було визначено розподіл питомих зусиль на торцях пуансона, виштовхувача та по висоті поверхні матриці. Зі збільшенням швидкості деформування від 50 до 200 мм/сек відбулося значуще зниження зусиль деформування. Подальше збільшення швидкості мало впливу на величину зусилля. У роботі також містяться рекомендації щодо вибору пресового обладнання. Для заключної стадії видавлювання з осаджуванням наведено розподіл температури, компонент

напружень і деформацій в деформованому металі. Була визначена температура охолодження в шарах металу, розташованих поблизу контактуючих поверхонь. Також встановлено кінцеві форму та розміри виробу. Для отримання рівного торця стінки необхідна додаткова операція його підрізання. Пропрацювання структури металу пластичною деформацією оцінено за величиною інтенсивності деформацій у стінці та донній частині виробу. Одночасне формоутворення зворотним видавлюванням з осаджуванням призводить до більш інтенсивного пропрацювання структури металу пластичною деформацією і зменшує нерівномірність інтенсивності деформацій по ширині стінки виробу.

Дослідження, описане у роботі [56], призначене для вивчення інноваційного методу прямого-зворотного видавлювання порожнистих кінцевих виробів (див. рис. 1.21) з використанням високовуглецевої сталі та визначення параметрів для розробки відповідної технології. Зазначений метод дозволяє отримувати порожнисті вироби з різною товщиною стінки по висоті за один прохід, при цьому товщина стінки у верхній частині виробу може бути більшою, ніж товщина у донній частині. Використовуючи моделювання (див. рис. 1.22) з методом скінченних елементів, визначені розміри початкового заготовки, які забезпечують одночасний рух металу у прямому та зворотному напрямках під час формування виробу, зменшуючи зусилля деформації. Використання цього методу також призводить до зниження нагрівання інструменту за рахунок скорочення площі контакту між zdeформованою заготовкою та інструментом.

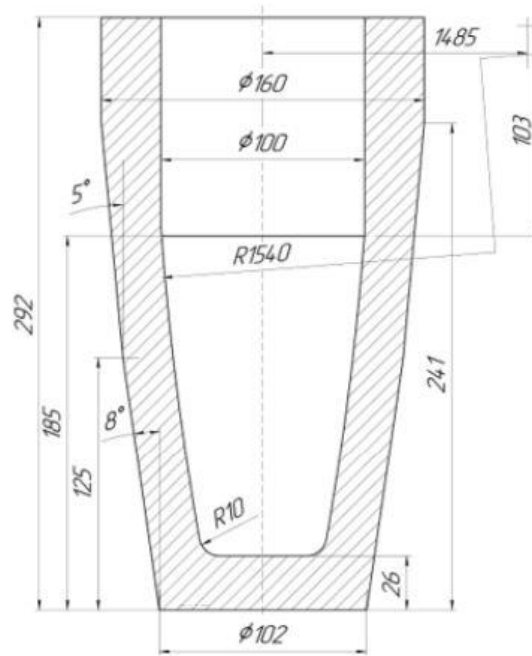


Рисунок 1.21 – Ескіз виробу із високовуглецевої сталі.

Визначена оптимальна швидкість деформації для забезпечення необхідного температурного інтервалу під час процесу видавлювання. Установлені залежності між силами видавлювання, вийманням пуансона з деформованої заготовки та виштовхуванням виробу з матриці від переміщення відповідних інструментів. Знайдено кінцеву форму та розміри виробу з розподілом температури і деформацій. Для максимального зусилля видавлювання виявлені розподіли питомих зусиль на контактуючих поверхнях пуансона, матриці, виштовхувача, а також напружень по об'єму деформованої заготовки. З отриманими даними може бути розроблена технологія гарячого прямого-зворотного видавлювання, яку можна реалізувати на універсальному пресовому обладнанні, забезпечуючи високу продуктивність завдяки зменшенню кількості переходів штампування. Описано конструкцію штампу з примусовим охолодженням матриці для видавлювання виробів конкретних розмірів.

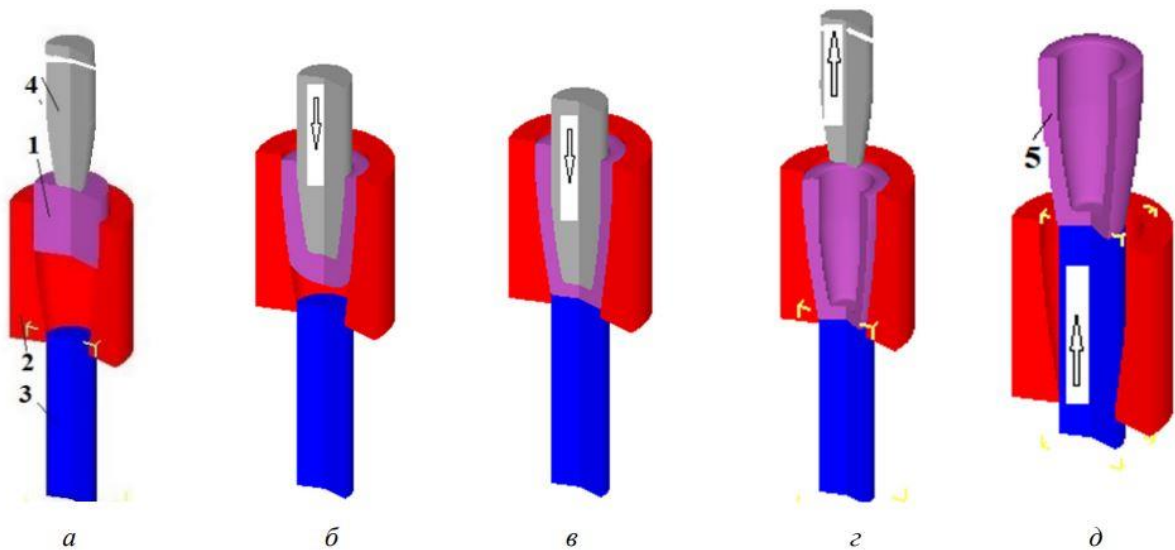


Рисунок 1.22 – Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструмента при видавлюванні конічних виробів:
 а – на початку видавлювання; б – на проміжній стадії видавлювання; в – в кінці видавлювання; г – після виймання пуансона; д – після виштовхування виробу

У роботі [57] наведено метод об'ємного гарячого штампування деталей типу чаша чи стакан. Процес включає три стадії: на першій стадії формується потовщення в торці заготовки шляхом осадження, на другій стадії з напівфабрикату формується шайба, а на третій стадії здійснюється видавлювання шайби, що призводить до отримання деталей типу чаша чи стакан.

У роботі [58] авторами описано метод отримання порожнистих деталей з фланцями або без. Заготовку нагрівають та піддають деформації у штампі, попередньо гріючи її так, щоб співвідношення температури заготовки до температури штампу знаходилося в діапазоні від 0,7 до 7,4. Нагрів заготовки виконується в конкретному температурному інтервалі, залежно від матеріалу заготовки.

У роботі [59] авторами описано метод гарячого штампування порожнистих виробів з періодичним перерізом зовнішньої бокової частини. Формотворення виробу відбувається за один хід пуансону. Зовнішню бокову поверхню виробу формують у розбірній втулці, розміщеній в контейнері преса. Це призводить до зниження температурного впливу на виріб та інструмент, а також поліпшення якості поверхні.

У роботі [60] автор описав метод виготовлення деталей типу "Кришка". Заготовку з нагрітої сталі піддають об'ємному штампуванню, видавлюючи порожнистий виріб у формі стакану. Нагрів вихідної заготовки виконують в діапазоні температур від критичної температури перетворення в аустеніт Ас3 до максимальної температури кінця деформації сталі при гарячому штампуванні. Видавлювання проводиться в умовах всесторонньо нерівномірного стиску зі ступенем деформації більше 50%. Після цього виконують зміцнювальну термообробку, що призводить до підвищення експлуатаційних характеристик виробу.

У роботі [61] авторами використано моделювання методом кінцевих елементів для встановлення параметрів гарячого штампування порожнистого виробу зі сплаву В93пч та опрацюванням структури металу пластичною деформацією. Моделювання дозволило визначити форму та розміри вихідної заготовки, температуру підігріву деформуючого інструменту, зусилля штампування, зусилля виштовхування виробу з матриці, питомі зусилля на інструменті, зміну температури металу при формозміні, напружено-деформований стан заготовки, кінцеві форми та розміри виробу. На основі результатів розрахункового аналізу спроектовано та виготовлено штамп для гарячого штампування, і проведено експериментальні дослідження на гідравлічному пресі. Випробування на розтяг стандартних зразків, вирізаних зі стінки виробу після термообробки, показали, що дані відповідають вимогам щодо механічних властивостей металу в стінці виробу.

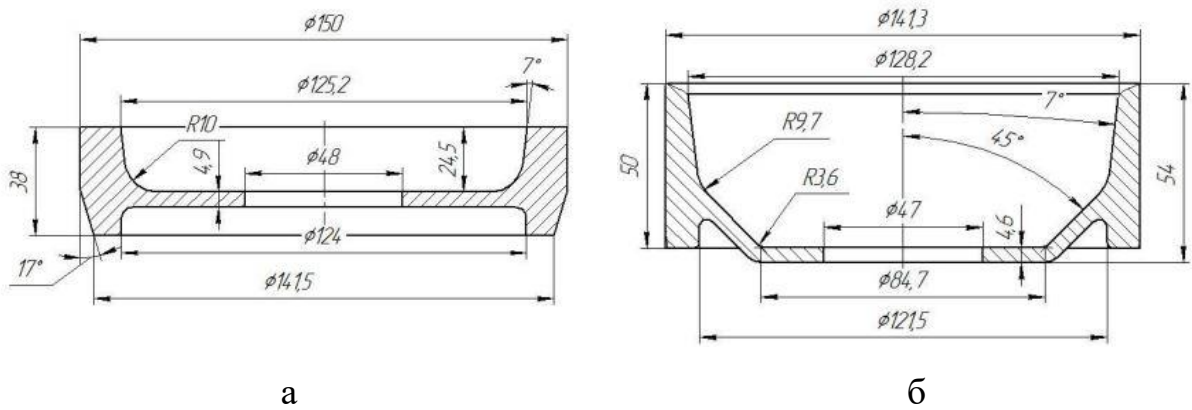


Рисунок 1.23 – Ескіз порожнистого виробу із високоміцного алюмінієвого сплаву В93пч (а) та розрахункові форма й розміри вихідної заготовки (б)

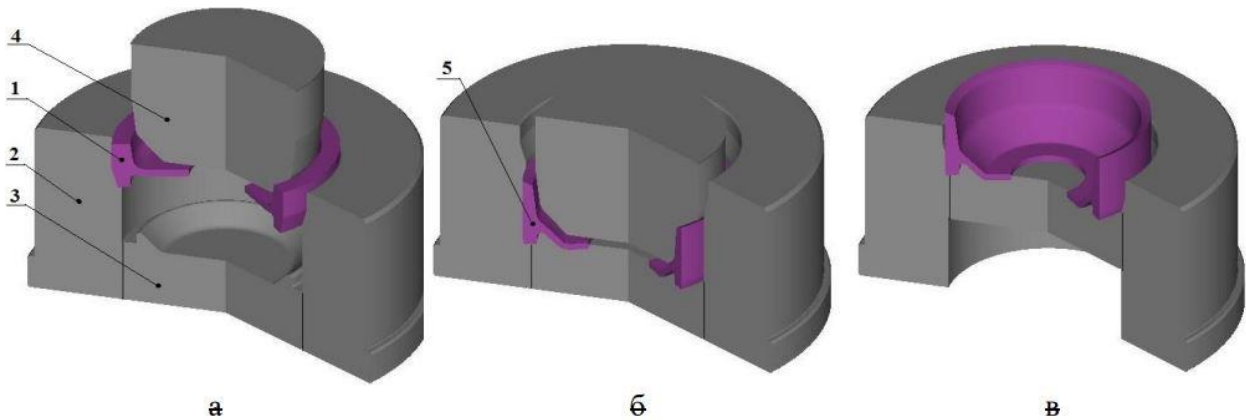


Рисунок 1.24 – Розрахункові положення деформуючого інструменту в розрізі при штампуванні:

а – на початку штампування; б – в кінці штампування; в – після виштовхування виробу

В роботі [62] авторами отримані результати математичного моделювання процесу зворотного видавлювання порожнистого виробу з відростком у донній частині виробу дозволяють зробити наступні висновки:

- закономірності та співвідношення розподілу напружень у поперечному перерізі заготовки, отримані математичним моделюванням процесів зворотного вичавлювання і зворотного видавлювання з активною дією сил

тертя (при $KV=1,0$), узгоджуються з закономірностями, визначеними у літературних джерелах;

- при зворотному видавлюванні з активною дією сил тертя при малій швидкості руху матриці щодо заготовки нерівномірність НДС заготовки значно нижча, ніж при звичайному процесі зворотного видавлювання;

- зниження напруженого стану заготовки пояснює зменшення сили деформування пуансоном, що сприймається, при активній дії сили тертя в порівнянні зі звичайним зворотним видавлюванням;

- гаряче зворотне видавлювання із застосуванням активної дії сил тертя та змащення заготовки є доцільним при виготовленні відносно великих виробів з важко деформованих алюмінієвих сплавів. Цей підхід рекомендується за умови відносної швидкості зміщення пари "заготовка - матриця", яка дорівнює швидкості закінчення металу в зазор між пуансоном та матрицею.

1.3. Висновки та постановка задачі дослідження.

В першому розділі було проведено літературний огляд джерел. Коротко описані основні способи отримання деталей обробкою металів тиском. Проведено огляд сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень по виготовленню порожнистих виробів гарячим та холодним об'ємним штампуванням. Наведені переваги та недоліки процесів ХОШ та ГОШ.

На основі проведеного літературного огляду були сформульовані наступні задачі:

1. Провести аналіз технологічності виробу «Втулка» із сталі 35 можливості його отримання методами ХОШ та ГОШ.

2. Провести розрахунковий аналіз за допомогою комп'ютерного моделювання формоутворення виробу «Втулка» із сталі 35 методами холодного об'ємного штампування та гарячого об'ємного штампування.

3. На основі проведеного аналізу технологічності і комп'ютерного моделювання вибрати оптимальну технологію виготовлення деталі «Втулка».
4. Спроекувати штампове оснащення для реалізації прийнятої в результаті технології виготовлення деталі «Втулка».

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Деталь «Втулка» та вибір технології її виготовлення.

Деталь «Втулка» виготовляється із сталі 35 ГОСТ 1050-2013. Хімічний склад сталі 35 та механічні властивості при підвищених температурах показано на рис. 2.1 та рис. 2.2 відповідно.

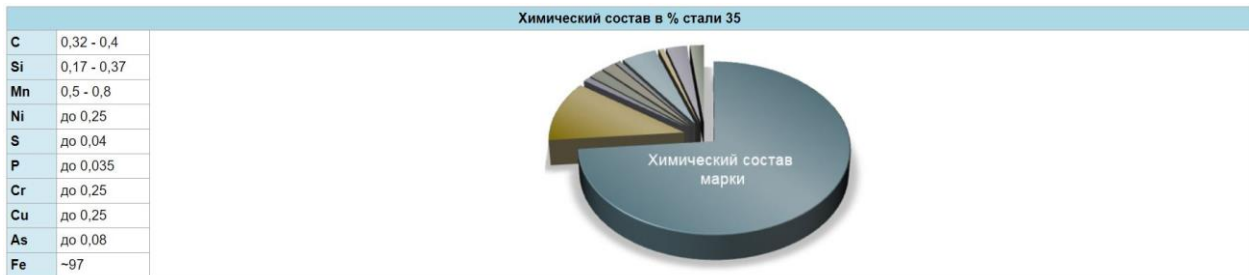


Рисунок 2.1 – Хімічний склад матеріалу деталі «Втулка» сталі 35.

Механические свойства стали 35 при повышенных температурах						
Температура испытаний, °C	Состояние стали, условия испытания	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ (%)	KCU (Дж / см ²)
200	Горячекатаное состояние Образец диаметром 6 мм, длиной 30 мм прокатанный. Скорость деформирования 16 мм/мин. Скорость деформации 0,009 1/с	300	580	9	39	78
300		205	580	21	52	69
400		185	500	23	64	59
500		145	350	24	70	39
600		78	195	35	83	69
700		100	150	34	75	---
800		69	110	56	100	---
900		55	74	54	100	---
1000		30	51	69	100	---
1100		21	39	74	100	---
1200		15	27	85	100	---
1300		18	23	58	100	---

Рисунок 2.2 – Механічні властивості при підвищених температурах матеріалу деталі «Втулка» сталі 35.

Ескіз деталі «Втулка» та її тривимірну модель в розрізі показано на рис. 2.3 та рис. 2.4 відповідно.

Типову деталь на сьогодні також отримують за допомогою механічної обробки. Визначимо, який при цьому буде коефіцієнт використання матеріалу. Для визначення розмірів вихідної заготовки потрібно врахувати припуски на механічну обробку. Врахувавши припуски заготовки з діаметром прутка 24 мм та висотою заготовки 22 мм будуть оптимальними (рис. 2.5).

Сортамент прутка обираємо по ГОСТ 1050-2013.

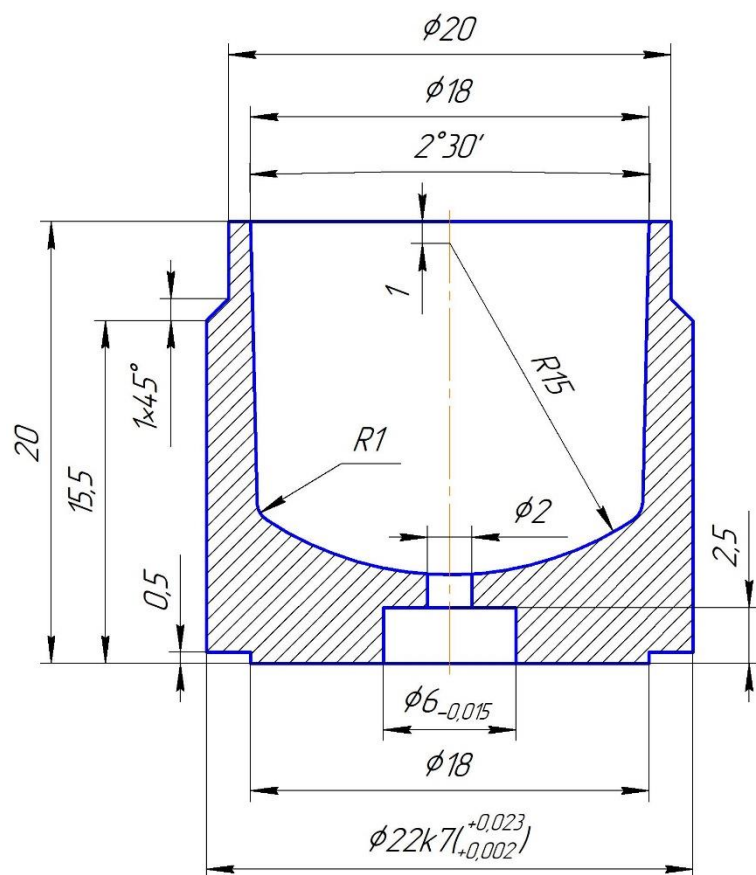


Рисунок 2.3 – Ескіз деталі «Втулка».

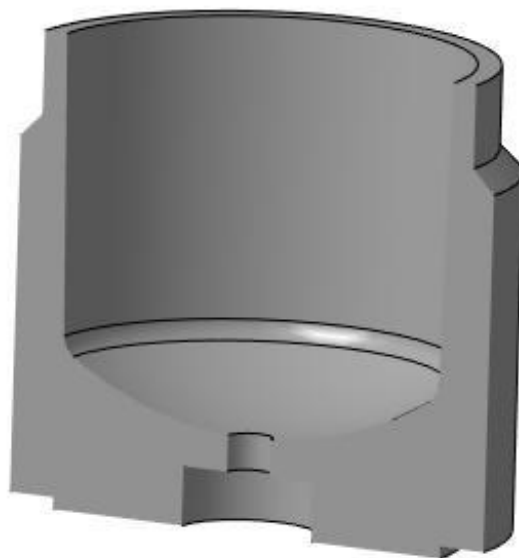


Рисунок 2.4 – Тривимірна модель в розрізі деталі «Втулка».

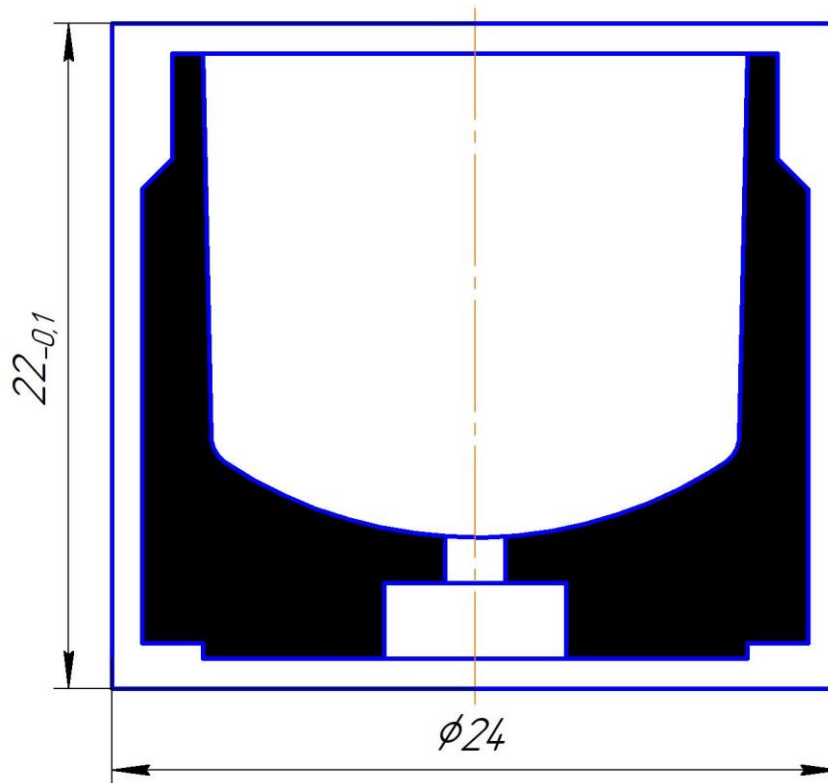


Рисунок 2.5 – Заготовка деталі «Втулка» для механічної обробки.

Тоді, об'єм прийнятої заготовки для отримання механічною обробкою деталі «Втулка»:

$$V_{\text{заг}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{заг}}^2}{4} \cdot h_{\text{заг}} = \frac{\pi \cdot 24^2}{4} \cdot 24 = 10852 \text{ мм}^2$$

де $D_{\text{заг}} = 24 \text{ мм}$ – діаметр заготовки,

$h_{\text{заг}} = 24 \text{ мм}$ – висота заготовки (при цьому врахували припуск на обрізування прутка 2 мм).

За допомогою програми «КОМПАС-3D» визначаємо об'єм деталі «Втулка», що показано на рис. 2.6.

Як бачимо, об'єм деталі «Втулка» $V_{\text{дет}} = 3603 \text{ мм}^2$.

Тепер розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою:

$$K_{\text{в}} = \frac{V_{\text{дет}}}{V_{\text{заг}}} \cdot 100 \% = \frac{3603}{10852} \cdot 100 \% = 33,2 \%$$

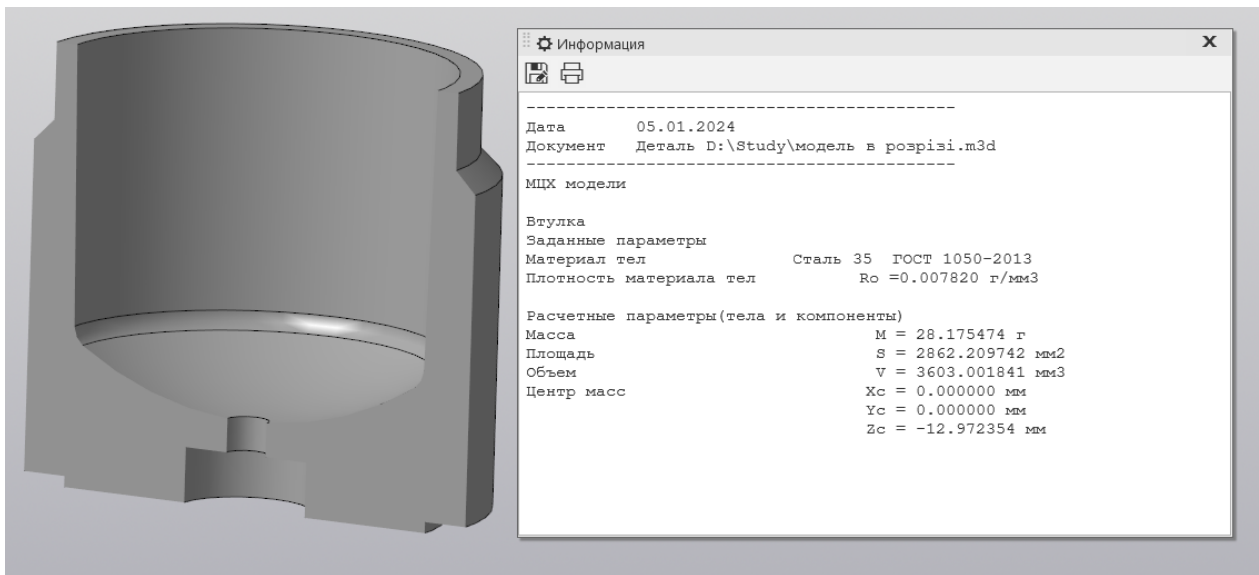


Рисунок 2.6 – Об'єм та маса деталі «Втулка».

За результатами розрахунку коефіцієнта використання матеріалу бачимо, що за допомогою механічної обробки отримується низький коефіцієнт використання матеріалу (33,2 %), тому цей спосіб виготовлення деталі «Втулка» є технологічним у разі штучного чи експериментального виробництва.

Оскільки деталь потребує масового типу виробництва, раціональним буде використовувати способи ОМТ, що може призвести до підвищення показника використання матеріалу до 70%.

Раціональні технологічні процеси виробництва трубчастих виробів (втулок, гільз і т.д.) не можливі без використання штампованих заготовок. В свою чергу основним способом виготовлення типових виробів з порожниною є видавлювання.

Далі розглянемо технологічність отримання виробу «Втулка» холодним та гарячим видавлюванням.

2.2 Аналіз технологічності отримання напівфабрикату деталі «Втулка» холодним зворотнім видавлюванням.

На рис 2.7 показаний ескіз напівфабрикату деталі «Втулка», який потрібно отримати методом холодного об'ємного зворотного видавлювання.

Напівфабрикат має постійну зовнішню поверхню та отвір з похилою поверхнею. Розміри цього напівфабрикату деталі «Втулка» отримано внаслідок додавання припусків на механічну обробку. Прийнято оптимальний діаметр напівфабрикату 24 мм, висота – 22 мм.

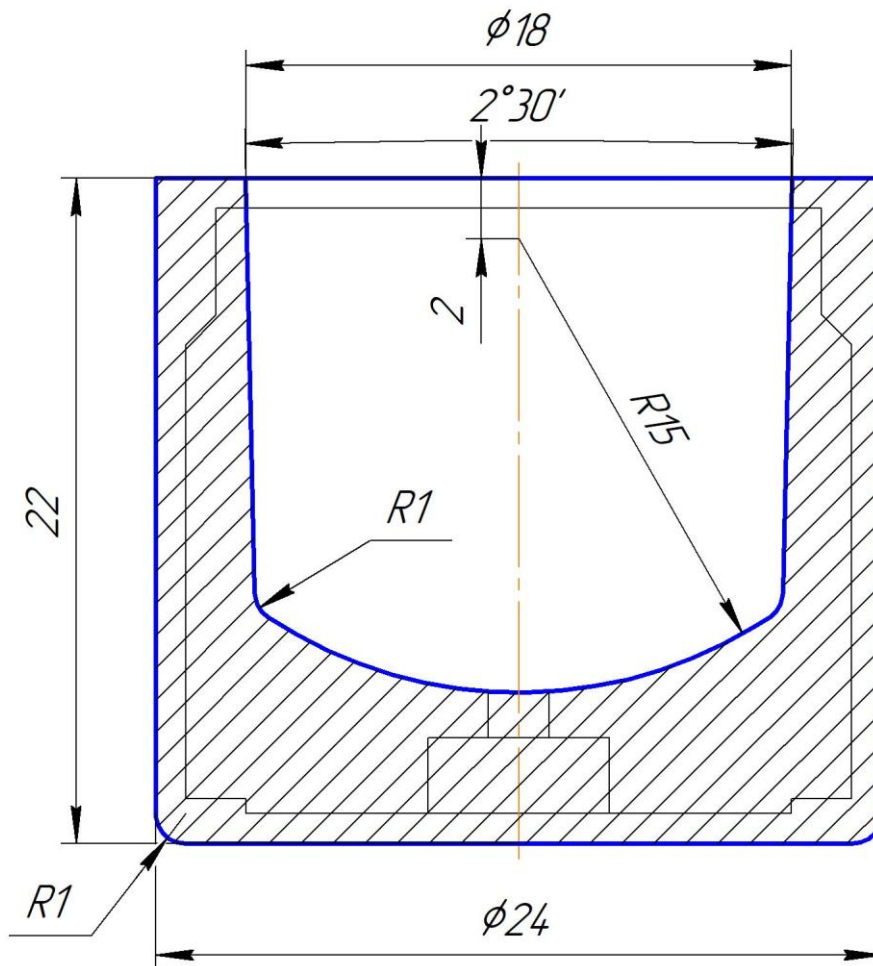


Рисунок 2.7 – Ескіз напівфабрикату деталі «Втулка», який отримується об'ємним штампуванням.

Тривимірну модель напівфабрикату в середовищі КОМПАС-3D з розрахованим об'ємом показано на рис. 2.8.

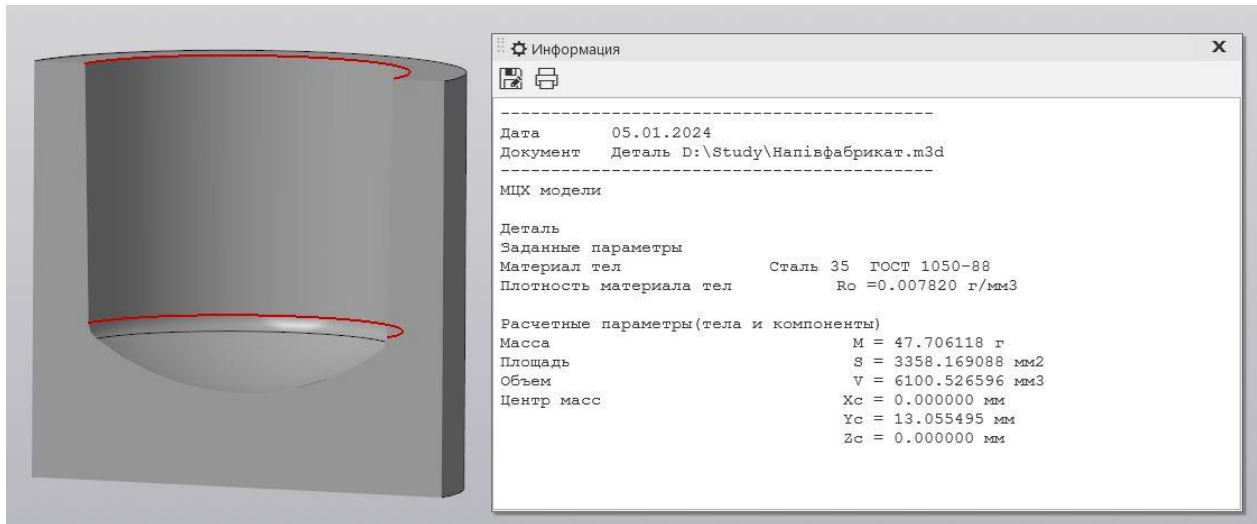


Рисунок 2.8 – Об'єм та маса напівфабрикату деталі «Втулка».

Як бачимо, об'єм напівфабрикату деталі «Втулка» $V_{\text{нф}} = 6100,5 \text{ мм}^3$.

Тепер, визначимо розміри вихідної заготовки. Спочатку приймаємо діаметр її $D_{\text{заг}} = 23 \text{ мм}$. Висоту заготовки $H_{\text{заг}}$ визначають за знайденим об'ємом напівфабрикату, який приймаємо рівним об'єму заготовки V .

$$H_{\text{заг}} = \frac{4 \cdot V_{\text{нф}}}{\pi \cdot D_{\text{заг}}^2} = \frac{4 \cdot 6100,5}{\pi \cdot 23^2} = 14,7 \text{ мм}$$

Отже, заготовкою для виготовлення напівфабрикату деталі «Втулка» методами об'ємного штампування буде круга заготовка діаметром $D_{\text{заг}} = 23 \text{ мм}$ та висотою $H_{\text{заг}} = 14,7 \text{ мм}$.

Ескіз заготовки показано на рис. 2.9.

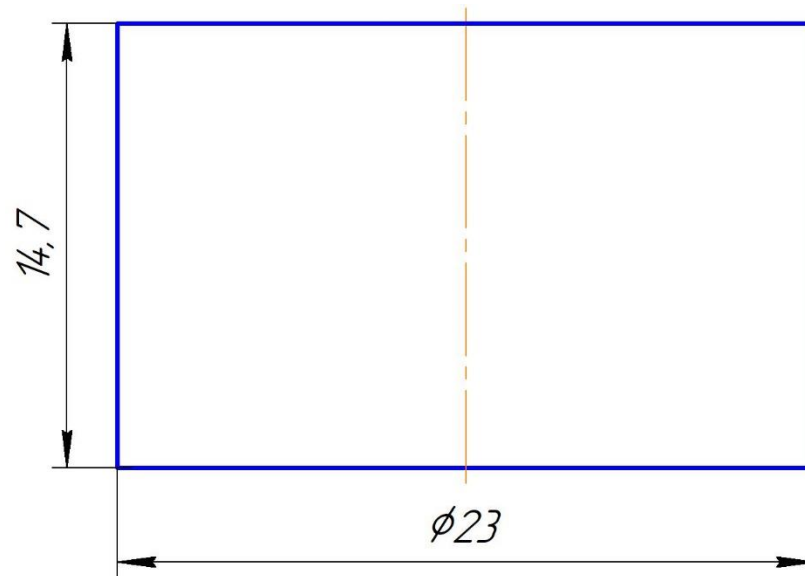


Рисунок 2.9 – Ескіз заготовки для напівфабрикату деталі «Втулка».

2.3. Комп'ютерне моделювання процесу виготовлення напівфабрикату деталі «Втулка» холодним зворотним видавлюванням в програмному середовищі DEFORM.

2.3.1. Розрахункова схема процесу та задані умови чисельного моделювання.

Процес комп'ютерного моделювання формоутворення холодним зворотнім видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка» було виконано в програмному середовищі DEFORM-2D.

При моделюванні формоутворення холодним зворотнім видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка» було задано наступні граничні умови:

- коефіцієнт тертя по Кулону $\mu = 0,1$;
- швидкість переміщення деформуючого інструменту (пуансона) $V_0 = 1$ мм/с;
- модель матеріалу – пластична;
- кількість елементів сітки – 1008;
- матеріал – AISI-1035 (аналог сталі 35, що доступний в бібліотеці матеріалів програми DEFORM).

Розрахункову схему процесу холодного зворотного видавлювання показано на рис. 2.10. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2. Зусилля деформування прикладено до пуансона 3.

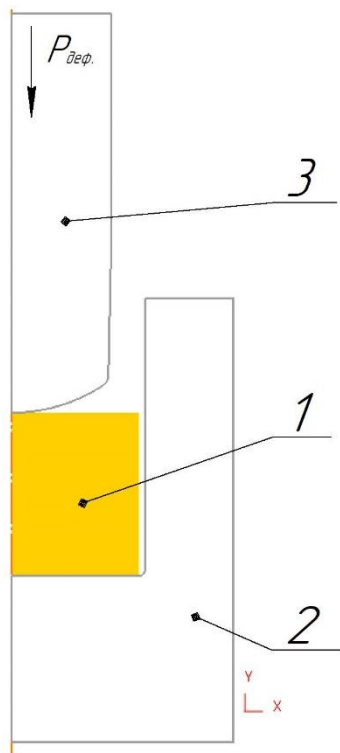


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема процесу

Послідовність формоутворення холодним зворотнім видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка» показано на рис. 2.11 (а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання).



Рисунок 2.11 – Послідовність формоутворення деталі «Ручка»

2.3.2. Результати комп'ютерного моделювання формоутворення напівфабрикату деталі «Втулка» холодним зворотним видавлюванням.

На рис. 2.12 зображений графік, який показує залежність зусилля деформування від переміщення пуансону (деформуючого інструменту). Як бачимо, максимальне зусилля виникає в кінці деформування та становить $P_{\text{деф}} = 1200000 \text{ Н} = 1200 \text{ кН} = 120 \text{ т}$ при переміщенні пуансону на 10 мм.

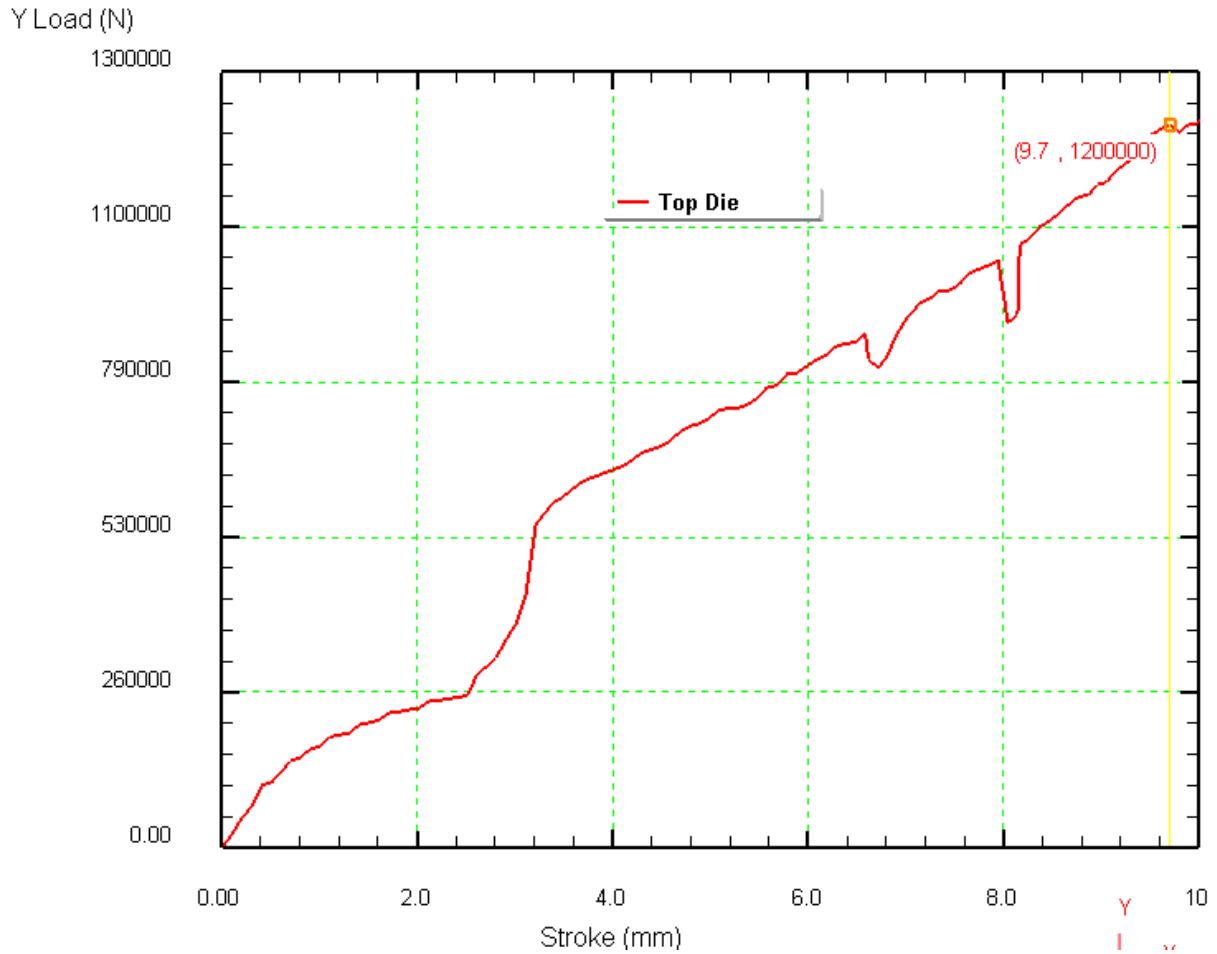


Рисунок 2.12 – Графік залежності зусилля деформування від переміщення деформуючого інструменту

Розподіл інтенсивності напружень та компонент напружень в момент максимального зусилля деформування (в даному випадку в здеформованому напівфабрикаті) показано на рис. 2.13. Інтенсивність напружень (рис. 2.13, а) знаходиться в межах $\sigma_i = 290 \div 935 \text{ МПа}$ у здеформованому напівфабрикаті.

Радіальні напруження (рис. 2.13, б) знаходяться в межах $\sigma_r = -4450 \div -206$ МПа. Тангенціальні напруження (рис. 2.13, в) знаходяться в межах $\sigma_\theta = -4410 \div 12$ МПа. Осьові напруження (рис. 2.13, г) знаходяться в межах $\sigma_z = -5260 \div 83$ МПа.

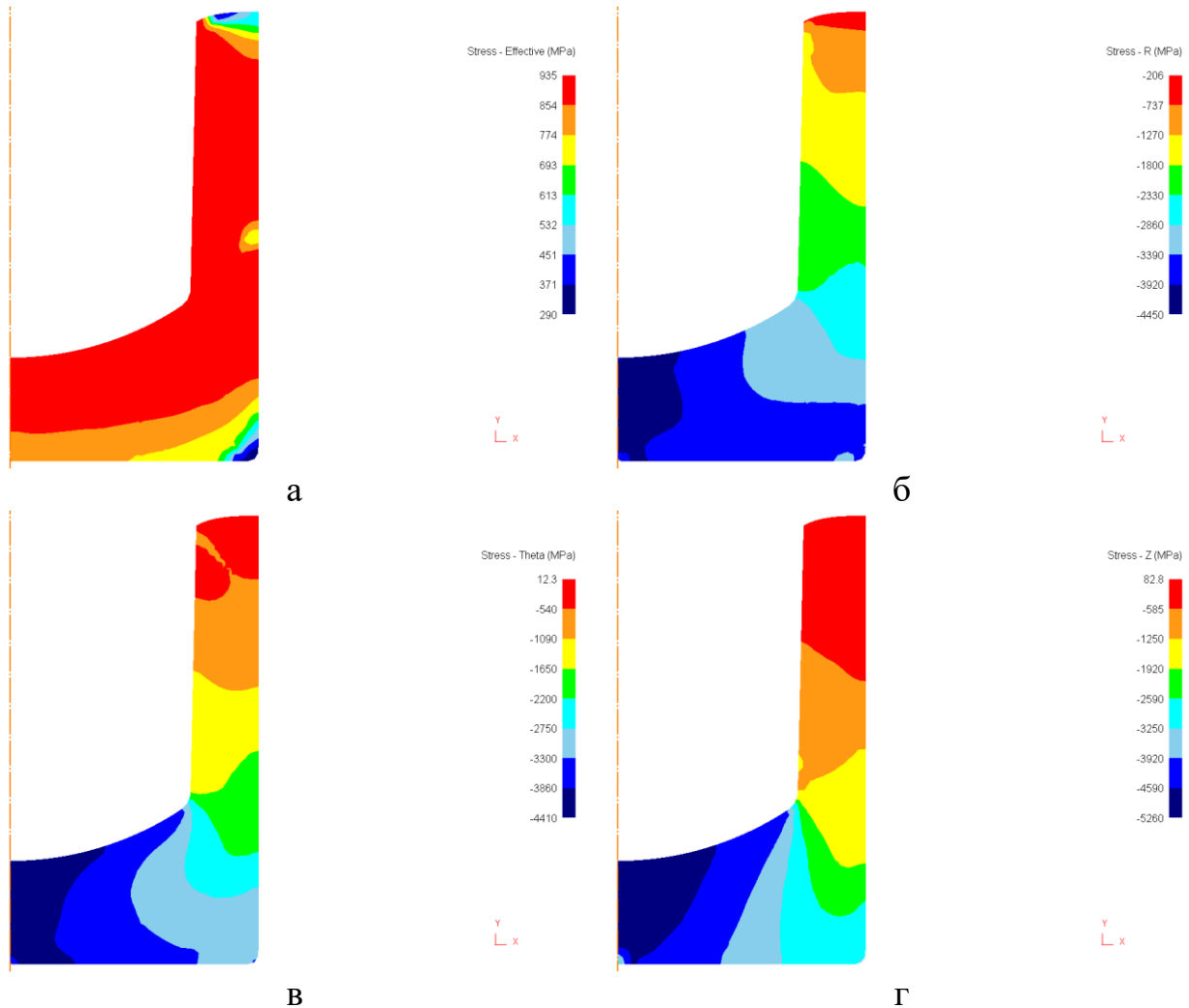


Рисунок 2.13 – Розподіл інтенсивності напружень та його компонентів по об'єму zdeформованого холодним зворотним видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка»:

а – інтенсивність напружень σ_i ; б – радіальні напруження σ_r ;
в – тангенціальні напруження σ_θ ; г – осьові напруження σ_z .

Розподіл інтенсивності деформацій та компонент деформацій в zdeформованому напівфабрикаті показано на рис. 2.14. Інтенсивність

напружень (рис. 2.14, а) знаходиться в межах $\varepsilon_i = 0 \div 2,0$ у здеформованому напівфабрикаті. Радіальні деформації (рис. 2.13, б) знаходяться в межах $\varepsilon_\rho = -2,0 \div 0,862$. Тангенціальні деформації (рис. 2.14, в) знаходяться в межах $\varepsilon_\theta = 0 \div 0,9$. Осьові деформації (рис. 2.14, г) знаходяться в межах $\varepsilon_z = -1,77 \div 1,25$.

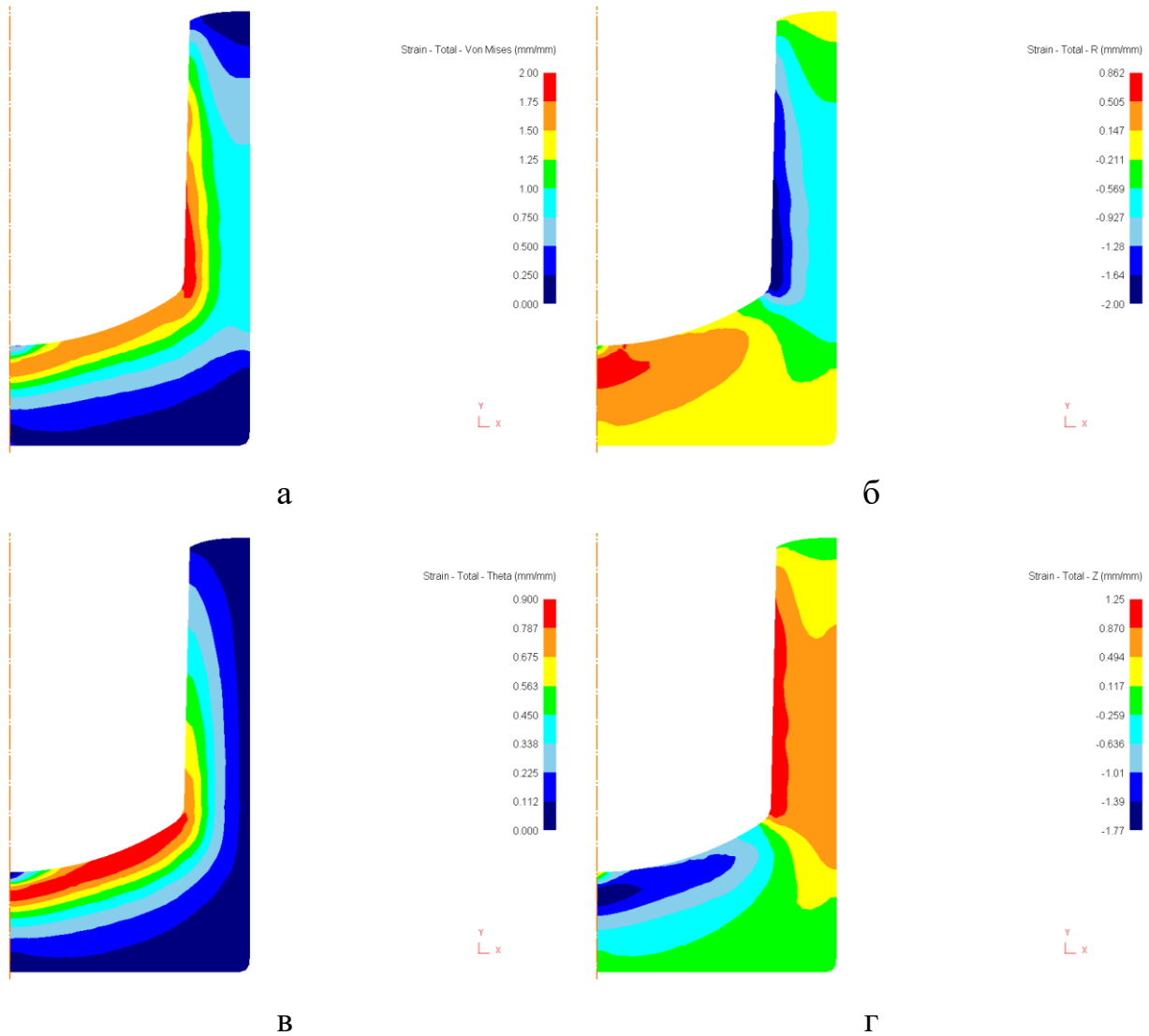


Рисунок 2.14 – Розподіл інтенсивності деформацій та його компонентів по об'єму здеформованого холодним зворотним видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка»:

а – інтенсивність деформацій ε_i ; б – радіальні деформації ε_ρ ;

в – тангенціальні деформації ε_θ ; г – осьові деформації ε_z .

Також визначили критерій руйнування в кінці процесу холодного зворотного видавлювання напівфабрикату деталі «Втулка». На рис. 2.15 показаний його розподіл по об'єму zdeформованого виробу. Значення критерію руйнування не перевищує 0,1.

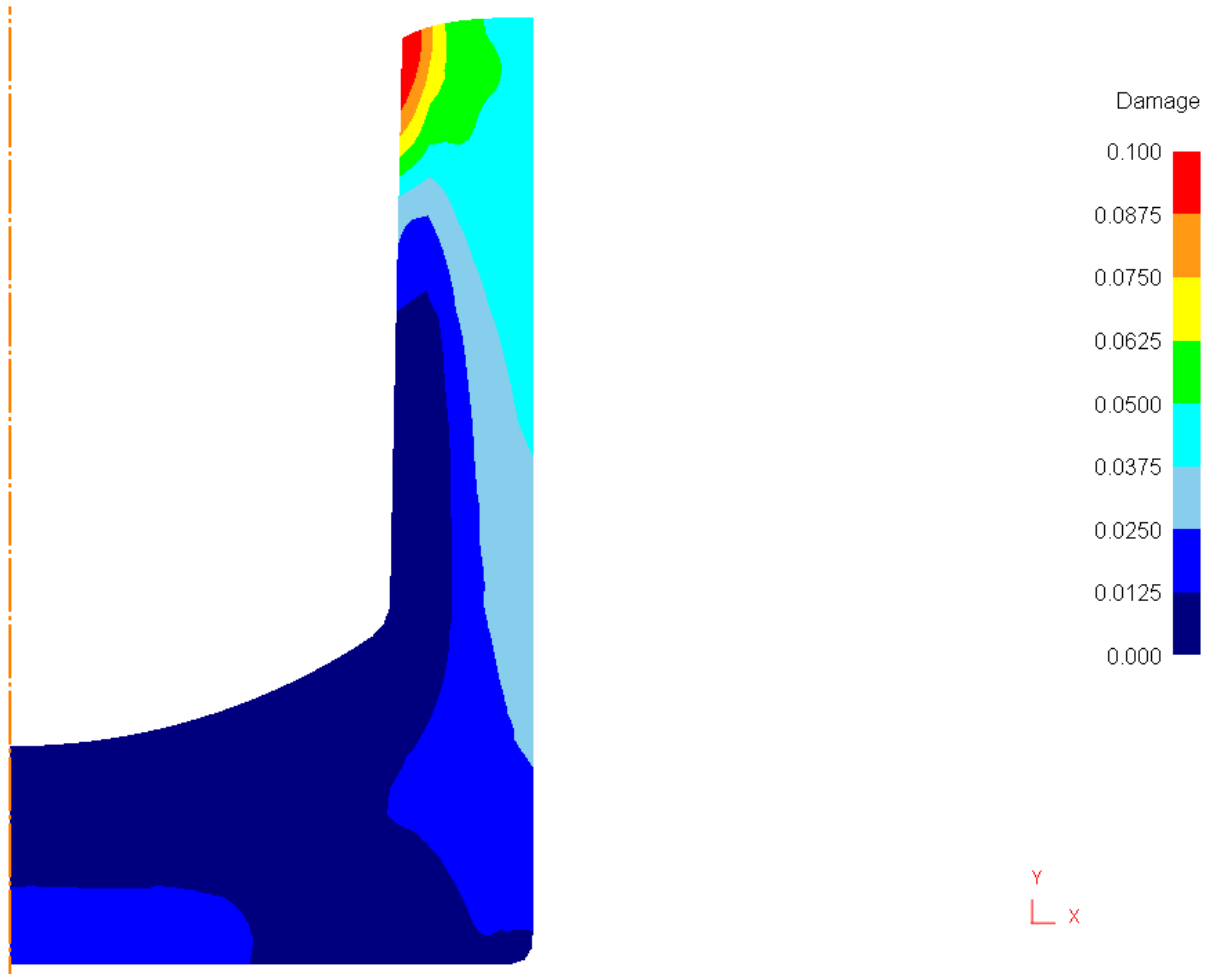


Рисунок 2.15 – Розподіл критерію руйнування по всьому об'єму zdeформованого холодним зворотним видавлюванням виробу

2.4. Комп'ютерне моделювання процесу виготовлення напівфабрикату деталі «Втулка» гарячим зворотним видавлюванням в програмному середовищі DEFORM.

2.4.1. Розрахункова схема процесу та задані умови чисельного моделювання.

Процес комп'ютерного моделювання формоутворення гарячим зворотнім видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка» було виконано в програмному середовищі DEFORM-2D.

При моделюванні формоутворення холодним зворотнім видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка» було задано наступні граничні умови:

- коефіцієнт тертя по Зібелю $\mu = 0,3$;
- швидкість переміщення деформуючого інструменту (пуансона) $V_0 = 1$ мм/с;
- модель матеріалу – пластична;
- температура заготовки – 1100°C , температура інструментів – 300°C ;
- кількість елементів сітки – 1008;
- матеріал – AISI-1035 (аналог сталі 35, що доступний в бібліотеці матеріалів програми DEFORM).

Розрахункову схему процесу холодного зворотного видавлювання показано на рис. 2.16. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2. Зусилля деформування прикладено до пуансона 3.

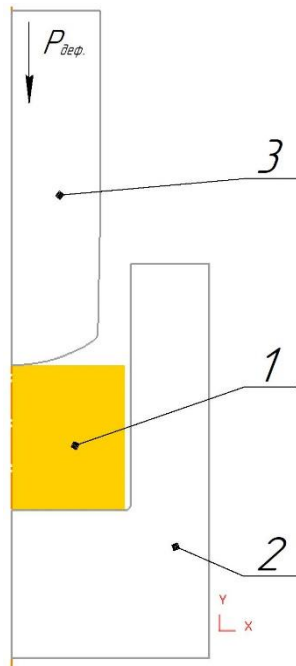


Рисунок 2.16 – Розрахункова схема процесу.

Послідовність формоутворення гарячим зворотним видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка» показано на рис. 2.17 (а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання).

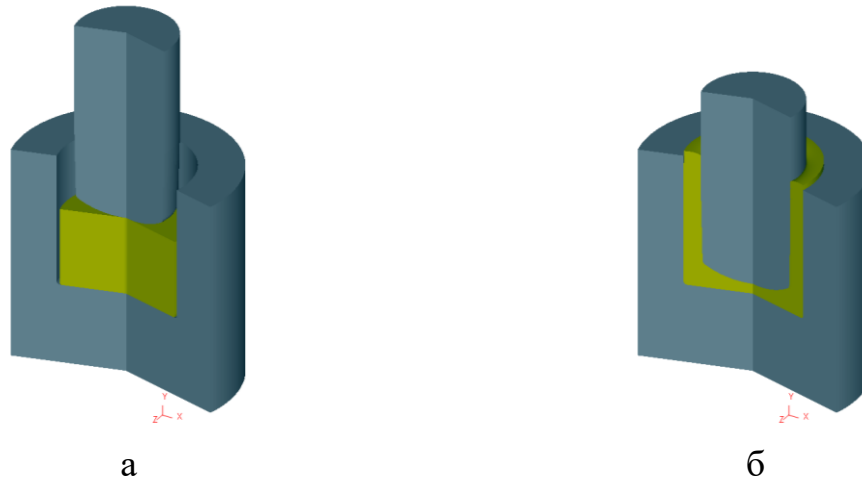


Рисунок 2.17 – Послідовність формоутворення деталі «Ручка»

2.3.2. Результати комп'ютерного моделювання формоутворення напівфабрикату деталі «Втулка» гарячим зворотним видавлюванням.

На рис. 2.18 зображений графік, який показує залежність зусилля деформування від переміщення пуансону (деформуючого інструменту). Як бачимо, максимальне зусилля виникає в кінці деформування та становить $P_{\text{деф}} = 220000 \text{ Н} = 220 \text{ кН} = 22 \text{ т}$ при переміщенні пуансону на 10 мм.

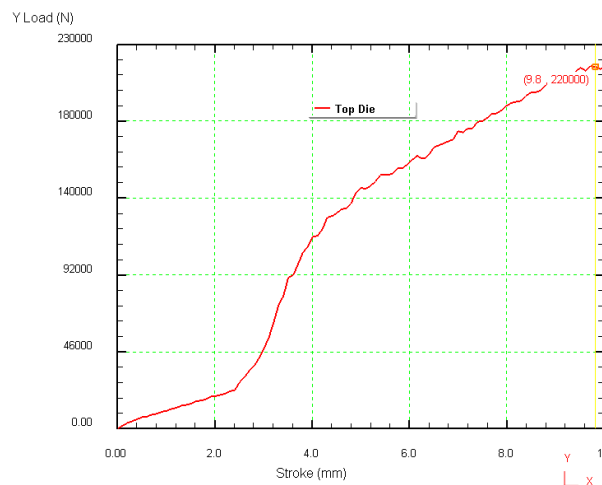


Рисунок 2.18 – Графік залежності зусилля деформування від переміщення деформуючого інструменту

Розподіл інтенсивності напружень та компонент напружень в момент максимального зусилля деформування (в даному випадку в zdeформованому напівфабрикаті) показано на рис. 2.19. Інтенсивність напружень (рис. 2.19, а) знаходиться в межах $\sigma_i = 17 \div 382$ МПа у zdeформованому напівфабрикаті. Радіальні напруження (рис. 2.19, б) знаходяться в межах $\sigma_\rho = -1370 \div 83$ МПа. Тангенціальні напруження (рис. 2.19, в) знаходяться в межах $\sigma_\theta = -1320 \div 97$ МПа. Осьові напруження (рис. 2.19, г) знаходяться в межах $\sigma_z = -1660 \div 74$ МПа.

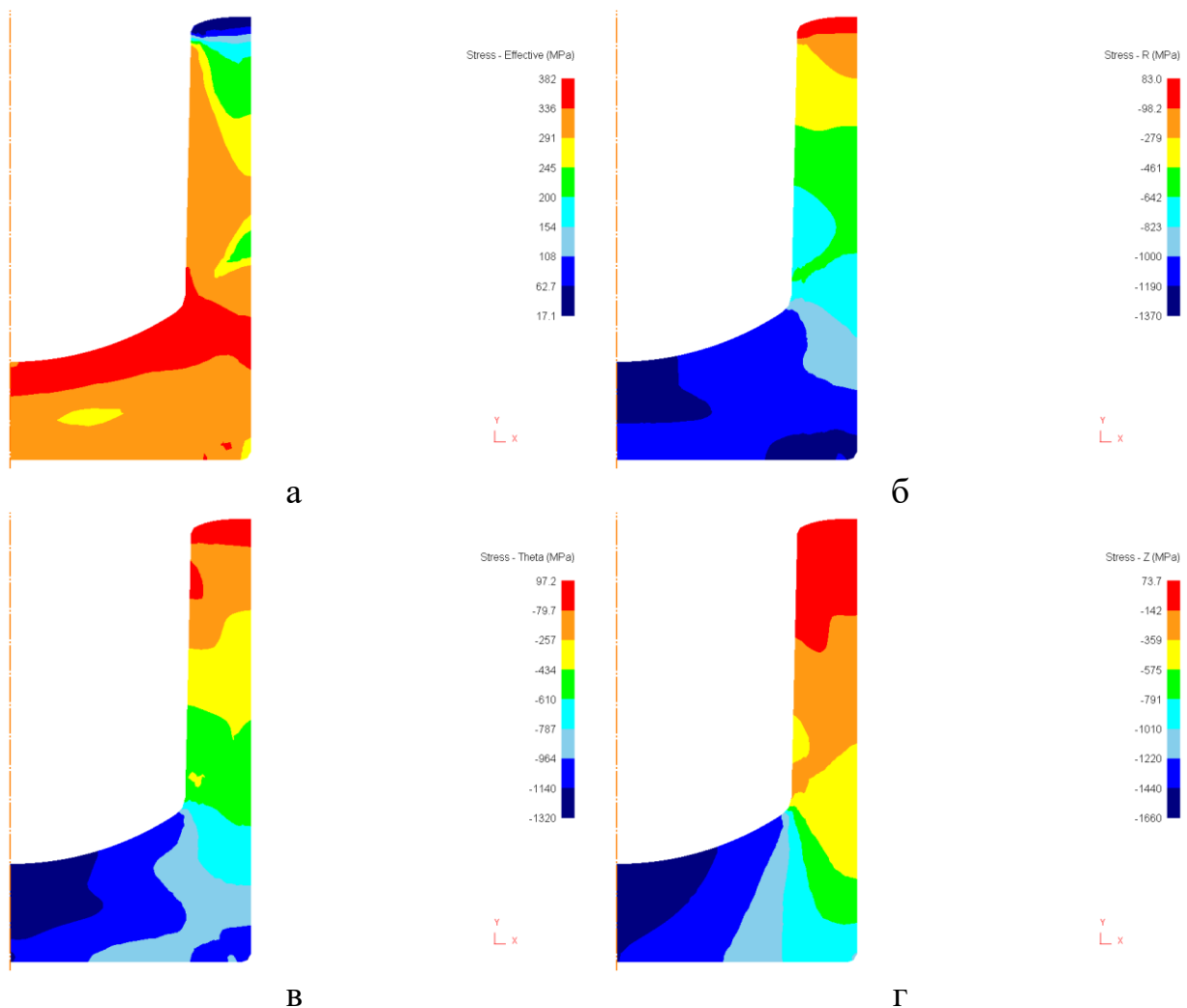


Рисунок 2.19 – Розподіл інтенсивності напружень та його компонентів по об'єму zdeформованого гарячим зворотним видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка»:

а – інтенсивність напружень σ_i ; б – радіальні напруження σ_ρ ;
в – тангенціальні напруження σ_θ ; г – осьові напруження σ_z .

Розподіл інтенсивності деформацій та компонент деформацій в здеформованому напівфабрикаті показано на рис. 2.20. Інтенсивність напружень (рис. 2.20, а) знаходиться в межах $\varepsilon_i = 0 \div 2,0$ у здеформованому напівфабрикаті. Радіальні деформації (рис. 2.20, б) знаходяться в межах $\varepsilon_\rho = -2,0 \div 0,862$. Тангенціальні деформації (рис. 2.20, в) знаходяться в межах $\varepsilon_\theta = 0 \div 0,9$. Осьові деформації (рис. 2.20, г) знаходяться в межах $\varepsilon_z = -1,77 \div 1,25$.

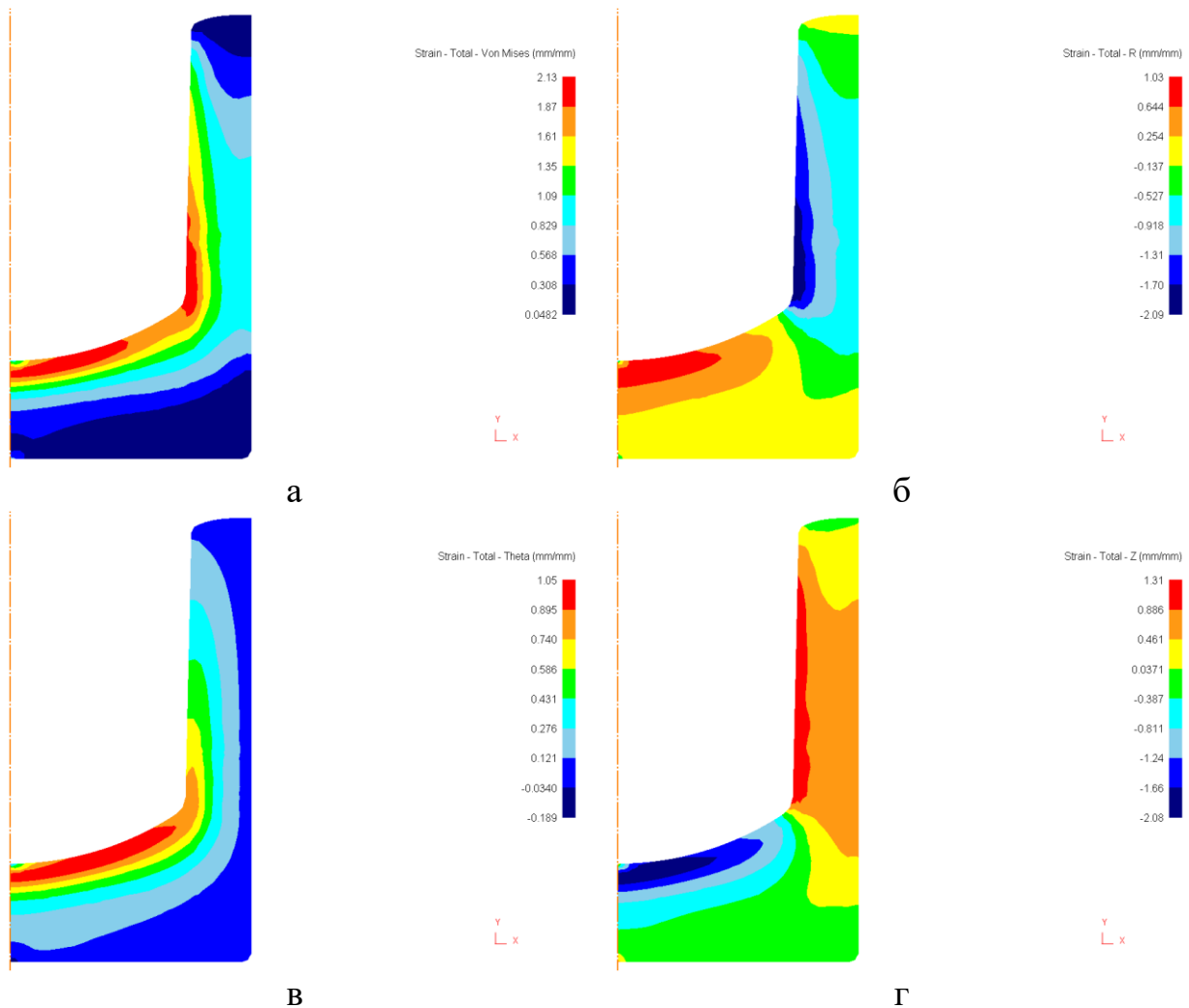


Рисунок 2.20 – Розподіл інтенсивності деформацій та його компонентів по об'єму здеформованого гарячим зворотним видавлюванням напівфабрикату деталі «Втулка»:

- а – інтенсивність деформацій ε_i ; б – радіальні деформації ε_ρ ;
в – тангенціальні деформації ε_θ ; г – осьові деформації ε_z .

Також визначили критерій руйнування в кінці процесу гарячого зворотного видавлювання напівфабрикату деталі «Втулка». На рис. 2.21 показаний його розподіл по об'єму zdeформованого виробу. Значення критерію руйнування не перевищує 0,14.

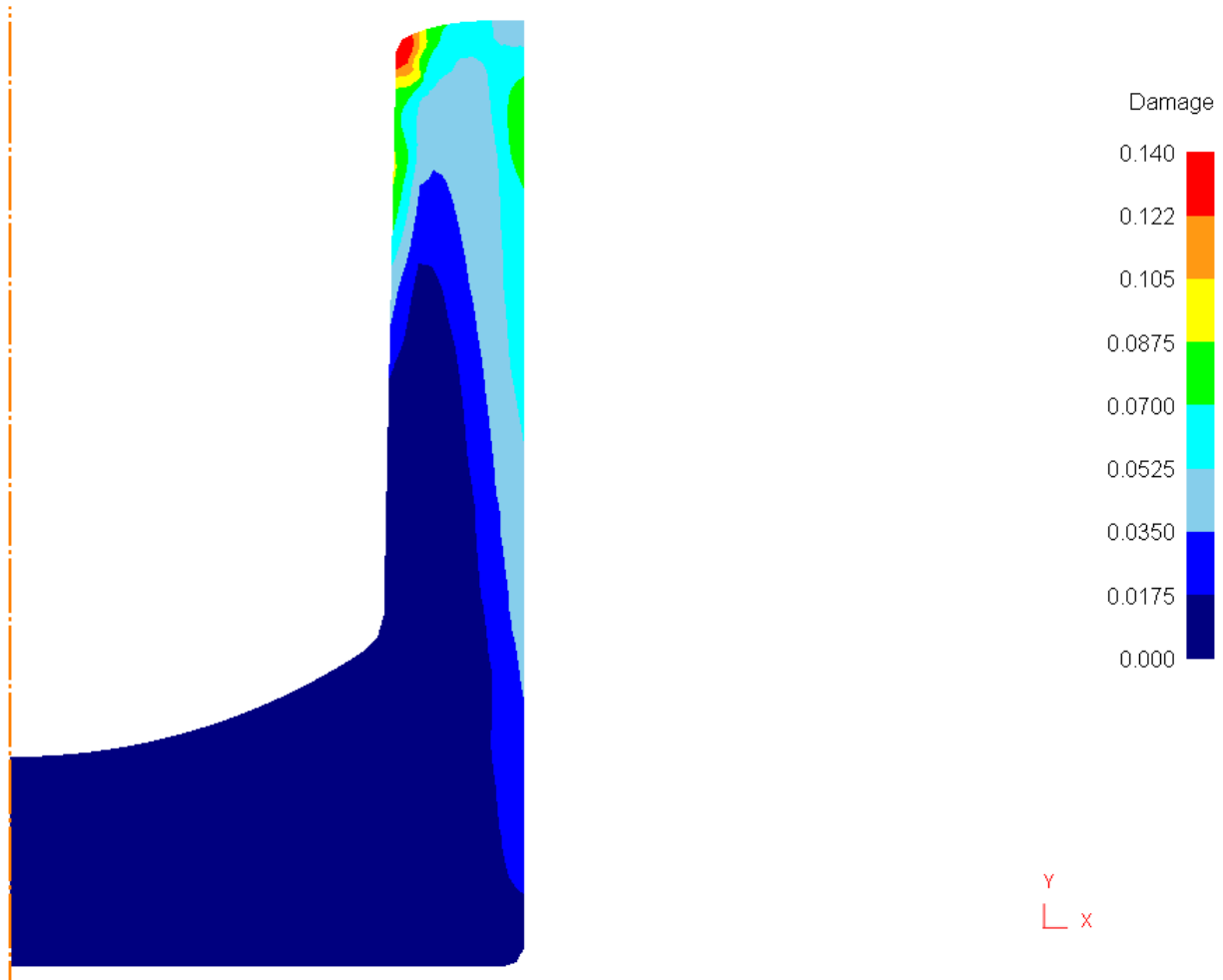


Рисунок 2.21 – Розподіл критерію руйнування по всьому об'єму zdeформованого гарячим зворотним видавлюванням виробу

верхньою (12) за допомогою гвинтів (16). Державка (7) фіксується накрученням фіксуючого кільця (10) на пуансонотримач (9).

Робота штампу для холодного зворотного видавлювання: штамп простої дії виконує холодне зворотне видавлювання напівфабрикату. Заготовка встановлюється в двобандажованій матриці (1). При ході повзуна вниз пуансон (2) виконує зворотне видавлювання заготовки. Готовий напівфабрикат залишається в двобандажованій матриці (1). Повзун повертається у крайнє верхнє положення. Виштовхування напівфабрикату з отвору матриці відбувається за допомогою виштовхувача пресу, що діє на виштовхувач (4) через штовхач (6) та плиту підкладну (5) і виштовхує деталь з матриці (1). Готовий напівфабрикат видаляється із штампового простору вручну за допомогою кліщів.

3.2. Основні деталі штампу.

Під час проектування штампу для процесу комбінованого холодного видавлювання з обмеженням течії металу, орієнтуємося на гідравлічний прес П6332 орієнтуючись по необхідному технологічному зусиллю.

Знаходимо розміри та кількість бандажів матриці для процесу комбінованого холодного видавлювання.

Розпиряюче питоме зусилля на матриці за результатами розрахунків програмного комплексу DEFORM-2D складає 2000 МПа, тобто матрицю потрібно виконувати багатобандажованою, рекомендовані розміри бандажу при $D_m = 25$ мм наступні $D_1 = 50$ мм, $D_2 = 90$ мм, $D_3 = 125$ мм.

Висота матриці 30 мм. Конусна поверхня ($1^\circ 30'$) забезпечить легше запресування поверхонь втулки і бандажу.

На рис. 3.1 показано двобандажована матриця для зворотного холодного видавлювання деталі «Втулка».

Пуансон для зворотного холодного видавлювання деталі «Втулка» показано на рис. 3.3. Робочі поверхні пуансона – шліфуються, робочий торець – полірується. Конусна поверхня пуансона забезпечить стійкість, риски на поверхні пуансона не допускаються.

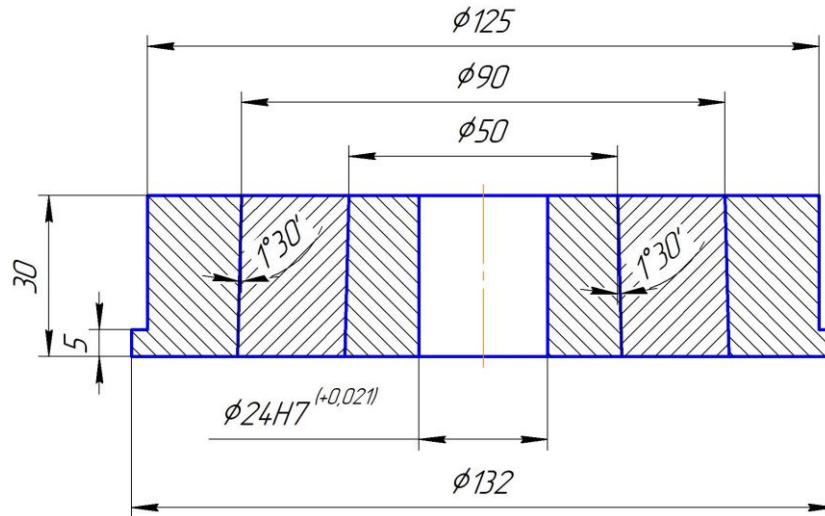


Рисунок 3.2 – Двобандажована матриця для зворотного холодного видавлювання деталі «Втулка».

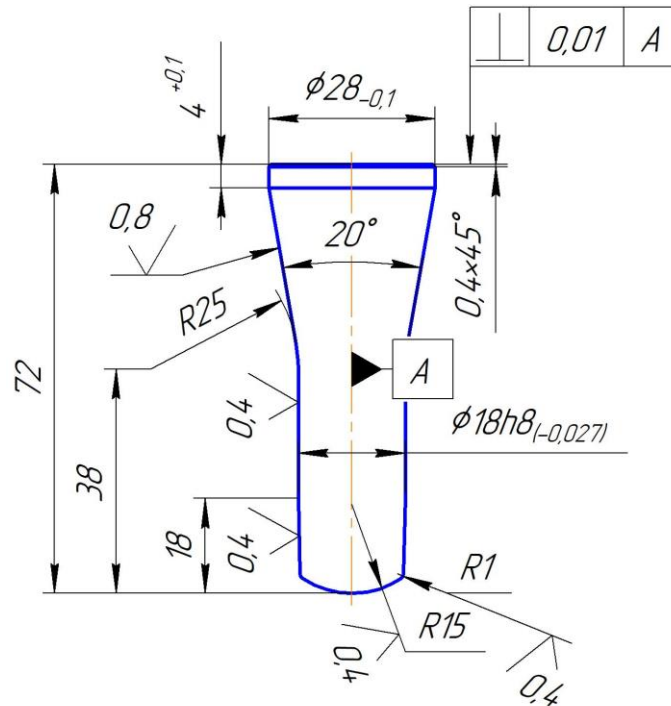


Рисунок 3.3 – Пуансон для холодного зворотного видавлювання деталі «Втулка».

Виштовхувач для зворотного холодного видавлювання деталі «Втулка» показано на рис. 3.4.

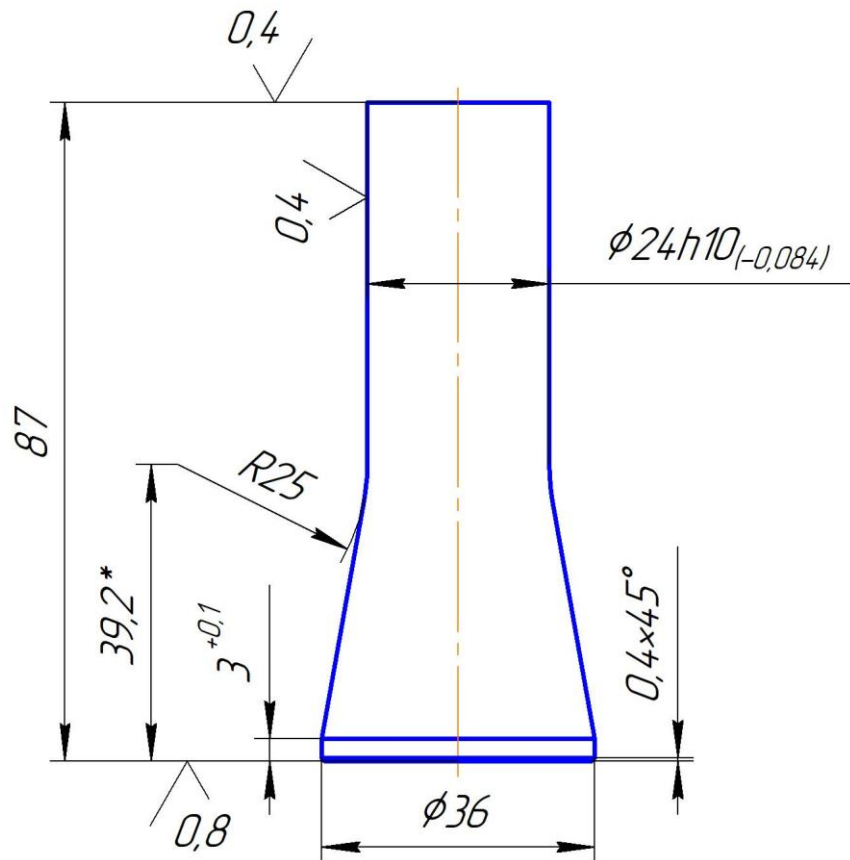


Рисунок 3.4 – Виштовхувач для зворотного холодного видавлювання деталі «Втулка».

На рис. 3.5 та рис. 3.6 показані підкладні плити під пуансон та виштовхувач відповідно.

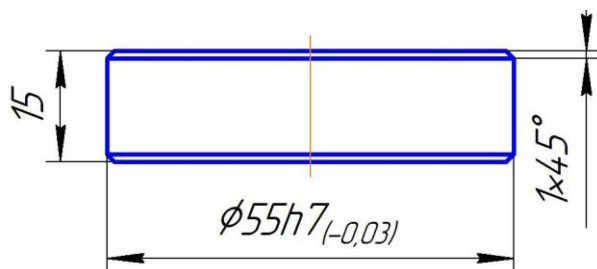


Рисунок 3.5 – Підкладна плита під пуансон

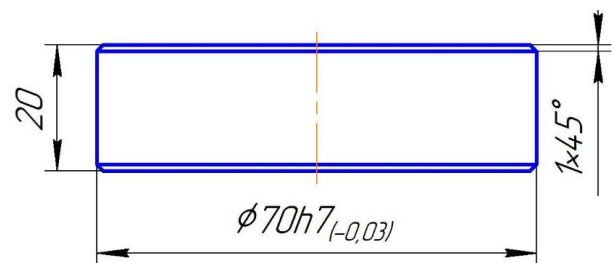


Рисунок 3.6 – Підкладна плита під виштовхувач

В таблиці 3.1 наведені матеріали деталей штампу.

Таблиця 3.1 – Матеріали деталей штампу для холодного зворотного
видавлювання деталі «Втулка».

Деталь	Матеріал	Термообробка	Твердість, HRC_z
Матриця: -бандаж -втулка матриці	30ХГСА	Загартування	54...56
		Відпуск	43...51
	5ХНМ	Загартування	55...60
		Відпуск	40...45
Пуансон	4Х5МФС		58...63
			46...50
Опорна плита	У10А	Загартування	55...59
Опорні підкладки	Х12	Загартування	52...56
Пуансонотримач	Сталь 40	Загартування	40...44
Державка	Сталь 45	Загартування	42...46
Фіксує кільце	Сталь 45	Загартування	42...46
Виштовхувач	Х12М	Загартування	54...58
Штовхач	Сталь 40	Загартування	50...54
Колонки	Сталь 20	Загартування	58...62**
Втулки	Сталь 20	Загартування	55...59**
Плити блоку	Сталь 40	Загартування	55...59

** - цементация на глибину 0,8 – 1,2 мм

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В результаті виконаної магістерської дисертації було:

1. Проведено літературний огляд джерел. Коротко описані основні способи отримання деталей обробкою металів тиском. Проведено огляд сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень по виготовленню порожнистих виробів гарячим та холодним об'ємним штампуванням. Наведені переваги та недоліки процесів ХОШ та ГОШ.
2. Проведений аналіз технологічності виробу «Втулка» із сталі 35 можливості його отримання методами ХОШ та ГОШ.
3. Проведений розрахунковий аналіз за допомогою комп'ютерного моделювання формоутворення виробу «Втулка» із сталі 35 методами холодного об'ємного штампування та гарячого об'ємного штампування.
4. На основі проведеного аналізу технологічності і комп'ютерного моделювання вибрати оптимальну технологію виготовлення деталі «Втулка». Було обрано гаряче зворотне видавлювання.
5. Спроектовано штампове оснащення для реалізації прийнятої в результаті технології виготовлення деталі «Втулка».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Штампування [Електронний ресурс] Вікіпедія // Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Штампування>
2. Штамповка [Электронный ресурс] Википедия // Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Штамповка>
3. Штамповка металла – технология, разновидности, оборудование, ГОСТ [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://met-all.org/obrabotka/prochie/shtampovka-metalla-obemnaya-vzryvom-gost.html#h2_1
4. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. - М.: Машиностроение, 1977. - 422 с.
5. Холодная объемная штамповка. Справочник под ред. д-ра техн. наук профессора Навроцкого. М., «Машиностроение», 1973г., 496 с.
6. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в двух томах под ред. М.В.Сторожева, М., «Машиностроение», 1967 г. Том 1.
7. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в двух томах под ред. М.В.Сторожева, М., «Машиностроение», 1968 г. Том 2.
8. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах под ред. Е.И.Семенова. М., «Машиностроение», 1985, Том 1.
9. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах под ред. Е.И.Семенова. М., «Машиностроение», 1986, Том 2.
10. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. - 520 с., ил.
11. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).
12. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1985-1987. - Т. 4: Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева. - 544 с.: ил.

13. Mohamed S. Mohamed. Investigation of deformation and failure features in hot stamping of AA6082: Experimentation and modelling / Mohamed S. Mohamed, Alistair D. Foster, Jianguo Lin, Daniel S. Balint*, Trevor A. Dean // Department of Mechanical Engineering, Imperial College London SW7 2AZ, UK, p. 27 – 38.

14. Wen-yu MA. Effect of friction coefficient in deep drawing of AA6111 sheet at elevated temperatures / Wen-yu MA, Bao-yu WANG, Lei FU, Jing ZHOU, Ming-dong HUANG // School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China /// Suzhou Institute for Non-ferrous Metal Research, Suzhou 215026, China, p. 2342 – 2351.

15. Tomoyoshi Maeno. Improvement in formability by control of temperature in hot stamping of ultra-high strength steel parts / Tomoyoshi Maeno, Ken-Ichiro Mori (1), Takaaki Nagai // // Department of Mechanical Engineering, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan, p. 1 – 4.

16. Zhi-chao Zhang. Analysis of thickness variation of reverse deep drawing of preformed 5A06 aluminium alloy cup under different temperatures / Zhi-chao Zhang, Yong-chao Xu, Shi-jian Yuan // Springer-Verlag London 2015, p. 1 – 9.

17. G. Venkateswarlu. Influence of process parameters on the cup drawing of aluminium 7075 sheet / G. Venkateswarlu, M. J. Davidson and G. R. N. Targore // Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Warangal, Andhrapradesh, INDIA – 506004, p. 41- 49.

18. Xiao-bo Fan. Formability and strengthening mechanism of solution treated Al-Mg-Si alloy sheet under hot stamping conditions / Xiao-bo Fan, Zhu-bin He, Wen-xuan Zhou, Shi-jian Yuan // National Key Laboratory for Precision Hot Processing of Metals, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China /// School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China, p. 180 – 185.

19. Y. Shi. Analysis of cup earring for AA3104-H19 aluminum alloy sheet / Y. Shi, H. Jin, P. D. Wu // Department of Mechanical Engineering, McMaster University, 1280 Main Street West, Hamilton, Ontario, L8S 4L7, Canada /// CanmetMATERIALS, Natural Resources Canada 183 Langwood Road South, Hamilton, Ontario, L8P 0A5, Canada, p. 1 – 11.

20. Yong Wu. Thickness and Microstructure Analysis on Hot Gas Bulged Cup-Shaped Parts of Ti-22Al-24.5Nb-0.5Mo / Yong Wu, Gang Liu, Zhiqiang Liu and Beibei Kong // National Key Laboratory for Precision Hot Processing of Metals, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China /// School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China, p. 138 – 143.

21. K. Mori (1). Hot stamping of ultra-high strength steel parts / K. Mori (1), P.F. Bariani (1), B.-A. Behrens (2), A. Brosius, Bruschi (1), T. Maeno, M. Merklein (1), J. Yanagimoto (1) // Department of Mechanical Engineering, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan /// Department of Industrial Engineering, University of Padova, Italy //// Institut für Fertigungstechnik, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany ///// Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan, p. 755 – 777.

22. Xiaojing LIU. Numerical Simulation of Aluminum Alloy Conical Cup Forming by Hydro-mechanical Deep Drawing / Xiaojing, Weiyan LIU, Cong WANG, Qingjuan ZHAO // College of Materials Science and Engineering Harbin University of Science and Technology Harbin, China, p. 181 – 185.

23. Tomoyoshi Maeno. Improvements in productivity and formability by water and die quenching in hot stamping of ultra-high strength steel parts / Tomoyoshi Maeno, Ken-Ichiro Mori (1), Masaki Fujimoto // Department of Mechanical Engineering, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan, p. 281- 284.

24. S.A. Ossia. Finite element simulation of the warm deep drawing process in forming a circular cup from magnesium alloy sheet / S.A. Ossia, B. Soltani // Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, P.O. Boz 87317-51167, Iran, p. 1213 – 1220.

25. Yong Xue. Study on processing and structure property of Al-Cu-Mg-Zn alloy cup-shaped part produced by radial-backward extrusion / Yong Xue, Bing Bai, Suaisuai Chen, Hong Li, Zhimin Zhang, Bowen Yang, p. 1 -10.

26. Bhadpiroon Watcharasresomroeng. Investigation on Forming Behaviour of Sheet Metal by Test Using Cylindrical Cup with Hole / Bhadpiroon Watcharasresomroeng // Tool and Die Technology Center, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000, Thailand, p. 51 -58.

27. Qiang WANG. Method of forming a cup shaped aluminum magnesium alloy article by rotary extrusion / Qiang WANG, Jianmin YU, Zhimin ZHANG, Xi ZHAO, Mo MENG, Jian XU, Shaobo CHENG // North University of CHINA, p. 1 – 12.

28. X Hu. Numerical Simulation for Microstructure Evolution in In718 Alloy During Cylindrical Cup Backward Extrusion / X Hu, R B Mei, F Zhu, Y Fan, Y B Liang, X B Wang, D G Wang and Z R Jing // Northeastern University at Qinhuangdao Branch, Northeastern University, Qinhuangdao 066004, China, p. 92 – 97.

29. Yasunori Harada. Drawability of Functional Corrugate Cup Using Roller Die / Yasunori Harada, Yuki Nishikubo and Ippei Tanaka // Graduate School of Engineering, University of Hyogo, Himeji 671-2280, Japan, p. 222 – 227.

30. Hongbo Dong. Defect Analysis of Cup-shaped Aluminum Alloy Forgings with Flange / Hongbo Dong, Gaochao Wang // School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang, Jiangxi, 330063, China, p. 349 -354.

31. DONG Guojiang. Hot Granules Medium Pressure Forming Process of AA7075 Conical Parts / DONG Guojiang, ZHAO Changcai, PENG Yaxin, and LI Ying / College of Vehicles and Energy, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China /// Key Laboratory of Advanced Forging & Stamping Technology and Science of Ministry of Education, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China, p. 1 – 12.

32. S.S. Panicker. Warm redrawing of AA6082 Sheets and investigation into effect of aging heat treatment on cup wall strength / S.S. Panicker, K. S. Prasad, G. Sawale, S Hazra, B. Shollock, S.K. Panda // Department of Mechanical Engineering IIT Kharagpur, West Bengal, 721302, India /// Warwick Manufacturing Group, University of Warwick, Coventry, CV4 7AL, UK //// Department of Engineering King's College London, Strand, WC2R 2LS, UK, p. 1 – 13.

33. Peter Birnbaum. Combination of Hot Forming with CRP and Rapid Cooling to Obtain Enhanced Formability in Thermomechanical Treatment / Peter Birnbaum, Markus Baumann, Andreas Kunke, Verena Krausel and Dirk Landgrebe // Professorship for Forming and Joining, Technische Universitat Chemnitz, Chemnitz, Germany /// Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology IWU, Chemnitz, Germany, p. 957 – 962.

34. Xiaobo Fan. Microstructure, texture and hardness of Al-Cu-Li alloy sheet during hot gas forming with integrated heat treatment / Xiaobo Fan, Zhubin He, Peng Lin, Shijian Yuan // National Key Laboratory for Precision Hot Processing of Metals, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China /// School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China //// College of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China, p. 1 – 25.

35. Omolayo M. Ikumapayi. The effects of lubricants on temperature distribution of 6063 aluminum alloy during backward cup extrusion process / Omolayo M. Ikumapayi, Sunday T. Oyinbo, Ojo P. Bodunde, Sunday A. Afolalu,

Imhade P. Okokpujie, Esther T. Akinlabi // Department of Mechanical Engineering Science, University of Johannesburg, South Africa /// Department of Mechanical and Mechatronics Engineering, Afe Babalola University, Ado Ekiti, Nigeria //// Department of Mechanical and Automation Engineering, The Chinese University of Hong Kong, Sha Tin, NT, Hong Kong, China ///// Department of Mechanical Engineering, Covenant University, Ota, Nigeria, p. 1 -13.

36. Петров П.А. Исследование процесса комбинированного выдавливания деталей из магниевого сплава при повышенных температурах в штампах с плавающим рабочим инструментом. / П. А. Петров, В. И. Воронков, М. А. Петров, В. А. Иванов // Материалы международного научного симпозиума «Автотракторостроение-2009». 65-ая Международная научно-техническая конференция Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». Секция 6 «Машины и технологии заготовительного производства», 2009, с.114-123.

37. Нгуен Куанг Ман Исследование влияния технологических параметров на силовые режимы обратного выдавливания // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. №12-2.

38. Калюжный А. В. Силовые режимы извлечения пуансонов из деталей после холодного обратного выдавливания и прямого выдавливания с раздачей / А. В. Калюжный, Л. И. Алиева, Л. В. Таган // Обработка материалов давлением. - 2016. - № 2. - С. 67-76.

39. Соболев Я. А., Филиппов Ю. К., Рагулин А. В., Молодов А. В. Исследование различных типов смазки при холодном обратном выдавливании // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. №2.

40. Калюжный В. Л., Пиманов В. В. Холодное выдавливание с дифференцированным противодавлением полостей штампов // Известия МГТУ. 2013. №2 (16).

41. Нгуен Куанг Ман, Кузин Владимир Федорович Исследование силовых параметров процесса холодного обратного выдавливания // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. №6-2.

42. Ву Хай Ха Качество заготовок и прогнозирование ресурса пластичности в процессе обратного выдавливания // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. №4.

43. Ву Хай Ха Компьютерное моделирование эволюции микроструктуры в процессе обратного выдавливания // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. №4.

44. Нгуен Тхань Чунг Моделирование процесса холодного обратного выдавливания методом конечных элементов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. №4.

47. Калюжний В.Л., Ярмоленко О.С. Зусилля деформування, напружено-деформований стан і температурний розподіл у здеформованій заготовці при гарячому зворотному видавлюванні порожнистих виробів із латуні. Вісник НТУ «ХП», Серія : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудування та металургії, Харків, 2018, № 23(1299) с. 28...33, ISSN 2519- 2671.

48. Калюжний В.Л. Аналіз схем холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів / В.Л. Калюжний, А.М. Потятиник // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк: НТУ, 2017. – № 59. – С. 137–143.

49. Калюжний В.Л., Ярмоленко О.С., Малій Х.В. Гаряче штампування сталевих порожнистих виробів з інтенсивною пластичною деформацією стінки і донної частини Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов, № 1(50)-2020, Краматорск, ДГМА, с. 98...104, ISSN 2076-2151, DOI: 10.37142/2076- 2151/2020-1(50)98)

50. Zhi-chao Zhang. Analysis of thickness variation of reverse deep drawing of preformed 5A06 aluminium alloy cup under different temperatures / Zhi-chao Zhang, Yong-chao Xu, Shi-jian Yuan // Springer-Verlag London 2015, p. 1 – 9.

51. G. Venkateswarlu. Influence of process parameters on the cup drawing of aluminium 7075 sheet / G. Venkateswarlu, M. J. Davidson and G. R. N. Targore // Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Warangal, Andhrapradesh, INDIA – 506004, p. 41- 49.

52. Xiao-bo Fan. Formability and strengthening mechanism of solution treated Al-Mg-Si alloy sheet under hot stamping conditions / Xiao-bo Fan, Zhu-bin He, Wen-xuan Zhou, Shi-jian Yuan // National Key Laboratory for Precision Hot Processing of Metals, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China /// School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China, p. 180 – 185.

53. Y. Shi. Analysis of cup earing for AA3104-H19 aluminum alloy sheet / Y. Shi, H. Jin, P. D. Wu // Department of Mechanical Engineering, McMaster University, 1280 Main Street West, Hamilton, Ontario, L8S 4L7, Canada /// CanmetMATERIALS, Natural Resources Canada 183 Langwood Road South, Hamilton, Ontario, L8P 0A5, Canada, p. 1 – 11.

54. Yong Wu. Thickness and Microstructure Analysis on Hot Gas Bulged Cup-Shaped Parts of Ti-22Al-24.5Nb-0.5Mo / Yong Wu, Gang Liu, Zhiqiang Liu and Beibei Kong // National Key Laboratory for Precision Hot Processing of Metals, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China /// School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China, p. 138 – 143.

55. K. Mori (1). Hot stamping of ultra-high strength steel parts / K. Mori (1), P.F. Bariani (1), B.-A. Behrens (2), A. Brosius, Bruschi (1), T. Maeno, M. Merklein (1), J. Yanagimoto (1) // Department of Mechanical Engineering, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan /// Department of Industrial

Engineering, University of Padova, Italy //// Institut für Fertigungstechnik, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany ///// Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan, p. 755 – 777.

56. Xiaojing LIU. Numerical Simulation of Aluminum Alloy Conical Cup Forming by Hydro-mechanical Deep Drawing / Xiaojing, Weiyan LIU, Cong WANG, Qingjuan ZHAO // College of Materials Science and Engineering Harbin University of Science and Technology Harbin, China, p. 181 – 185.

57. Tomoyoshi Maeno. Improvements in productivity and formability by water and die quenching in hot stamping of ultra-high strength steel parts / Tomoyoshi Maeno, Ken-Ichiro Mori (1), Masaki Fujimoto // Department of Mechanical Engineering, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan, p. 281- 284.

58. S.A. Ossia. Finite element simulation of the warm deep drawing process in forming a circular cup from magnesium alloy sheet / S.A. Ossia, B. Soltani // Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, P.O. Box 87317-51167, Iran, p. 1213 – 1220.

59. Yong Xue. Study on processing and structure property of Al-Cu-Mg-Zn alloy cup-shaped part produced by radial-backward extrusion / Yong Xue, Bing Bai, Suaisuai Chen, Hong Li, Zhimin Zhang, Bowen Yang, p. 1 -10.

60. Bhadpiroon Watcharasresomroeng. Investigation on Forming Behaviour of Sheet Metal by Test Using Cylindrical Cup with Hole / Bhadpiroon Watcharasresomroeng // Tool and Die Technology Center, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000, Thailand, p. 51 -58.

61. Qiang WANG. Method of forming a cup shaped aluminum magnesium alloy article by rotary extrusion / Qiang WANG, Jianmin YU, Zhimin ZHANG, Xi ZHAO, Mo MENG, Jian XU, Shaobo CHENG // North University of CHINA, p. 1 – 12.

62. X Hu. Numerical Simulation for Microstructure Evolution in In718 Alloy During Cylindrical Cup Backward Extrusion / X Hu, R B Mei, F Zhu, Y Fan, Y B Liang, X B Wang, D G Wang and Z R Jing // Northeastern University at Qinhuangdao Branch, Northeastern University, Qinhuangdao 066004, China, p. 92 – 97.

Додатки

Додаток А. Специфікації