

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ
«__» _____ 2026 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 131 «Прикладна механіка»

**на тему: «Технологія гарячого штампування отримання порожнистого
виробу з квадратної заготовки»**

Виконав: студент 4 курсу, групи АТ-21
Кодола Сегрій Анатолійович

(підпис)

Керівник кандидат технічних наук доцент Горностаї Вадим Миколайович

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище ім'я, по батькові)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище ім'я, по батькові)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2026 року

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Технологія гарячого штампування отримання
порожнистого виробу з квадратної заготовки»

Київ – 2026 року

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

Інститут Навчально-науковий механіко-машинобудівний

кафедра Технології виробництва літальних апаратів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології виробництва літальних апаратів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Кодола Сергій Анатолійович

1. Тема проекту « Технологія гарячого штампування отримання порожнистого виробу з квадратної заготовки », керівник проекту кандидат технічних наук доцент Горностай Вадим Миколайович, затверджені наказом по університету від «01» червня 2026 р. № 2019-с

2. Термін подання студентом проекту 19 червня 2026р.

3. Вихідні дані до проекту

Ескіз порожнистого виробу

4. Зміст пояснювальної записки

Літературний огляд, розділи, список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1 креслення А0, 2 креслення А2, презентація.

6. Консультанти розділів проекту*

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

7. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Літературний огляд	До 20.04.2026 р.	
2.	Технологічний розділ	До 05.05.2026 р.	
3.	Конструкторський розділ	До 20.05.2026 р.	
4.	Вибір обладнання	До 25.05.2026 р.	
5.	Креслення штампу	До 10.06.2026 р.	
6.	Деталювання	До 15.06.2026 р.	

Студент

Кодола Сергій

Керівник

Горностай Вадим

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі розроблено технологію гарячого штампування порожнистого виробу зі сталі C45 EN10083 із використанням квадратної заготовки. Проведено аналіз науково-технічної літератури щодо сучасних способів виготовлення порожнистих виробів методами гарячого зворотного та комбінованого видавлювання, а також застосування методу скінченних елементів для дослідження процесів пластичного формоутворення.

Визначено геометричні параметри вихідних круглої та квадратної заготовок для виготовлення заданого виробу. Виконано чисельне моделювання процесу гарячого штампування методом скінченних елементів у програмному комплексі DEFORM 3D. Досліджено закономірності формоутворення виробу, визначено силові параметри процесу, розподіли температур, напружень та деформацій у заготовці під час штампування.

Проведено порівняльний аналіз результатів моделювання для круглої та квадратної заготовок. Встановлено, що використання квадратної заготовки забезпечує більш інтенсивне пропрацювання структури металу пластичною деформацією та дозволяє знизити максимальне зусилля видавлювання приблизно на 20 % порівняно з круглою заготовкою. Отримані результати свідчать про доцільність використання квадратної заготовки для виготовлення досліджуваного порожнистого виробу.

На основі результатів моделювання розроблено конструкцію штампа для гарячого видавлювання та визначено вимоги до пресового обладнання. Виконано техніко-економічне порівняння варіантів виготовлення виробу з круглої та квадратної заготовок.

Ключові слова: гаряче штампування, зворотне видавлювання, порожнистий виріб, квадратна заготовка, метод скінченних елементів, DEFORM 3D, напружено-деформований стан, температура деформування, штамп, пропрацювання структури металу.

ABSTRACT

The bachelor's thesis is devoted to the development of a hot forging technology for manufacturing a hollow product from a square billet made of C45 EN10083 steel. A review of scientific and technical literature on modern methods of producing hollow parts by hot backward and combined extrusion processes, as well as the application of the finite element method for the analysis of metal forming operations, was carried out.

The geometrical parameters of both cylindrical and square billets required for manufacturing the specified product were determined. Numerical simulation of the hot forging process was performed using the finite element method in the DEFORM 3D software package. The material flow behavior, force parameters of the process, as well as temperature, stress, and strain distributions during forming were investigated.

A comparative analysis of the simulation results obtained for cylindrical and square billets was conducted. The results showed that the use of a square billet provides more intensive plastic deformation of the metal structure and reduces the maximum extrusion force by approximately 20% compared to a cylindrical billet. The obtained results confirm the feasibility of using a square billet for manufacturing the investigated hollow product.

Based on the simulation results, a die set design for the hot extrusion process was developed and the requirements for the press equipment were determined. In addition, a technical and economic comparison of the manufacturing processes using cylindrical and square billets was performed.

Keywords: hot forging, backward extrusion, hollow product, square billet, finite element method, DEFORM 3D, stress-strain state, forming temperature, die design, metal structure refinement.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	10
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ	30
3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ОТРИМАННЯ ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ З ЦИЛІНДРИЧНОЇ ТА КВАДРАТНОЇ ЗАГОТОВОК.....	35
3.1. Моделювання процесу гарячого штампування отримання порожнистого виробу з циліндричної заготовки.....	35
3.2. Моделювання процесу гарячого штампування отримання порожнистого виробу з квадратної заготовки.....	42
4. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ З КВАДРАТНОЇ ЗАГОТОВКИ ТА ВИБІР ПРЕСОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	51
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
ДОДАТОК. СПЕКИФІКАЦІЇ.....	67

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Кодола С.А.			Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Горностай В.М.					7	69
						КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ММІ, к. ТВЛА		
Н. Контр.								
Затв.								

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування, авіаційної, автомобільної та оборонної промисловості супроводжується постійним зростанням вимог до якості, надійності та економічності виготовлення деталей. Особливе місце серед заготовчих процесів займають методи обробки металів тиском, які забезпечують високий коефіцієнт використання матеріалу, покращення механічних властивостей виробів та підвищення продуктивності виробництва. До найбільш ефективних способів виготовлення порожнистих деталей належать процеси гарячого штампування та видавлювання, які дозволяють отримувати вироби складної форми з необхідними експлуатаційними характеристиками.

Порожністі вісесиметричні вироби широко застосовуються в різних галузях промисловості як корпусні елементи, стакани, втулки, гільзи та інші відповідальні деталі. Якість таких виробів значною мірою визначається характером течії металу під час деформування, рівнем пластичних деформацій у стінках і донній частині, а також температурними умовами процесу. Тому розроблення раціональних технологій їх виготовлення є актуальним завданням сучасного виробництва.

Одним із перспективних напрямків удосконалення технології гарячого штампування є використання заготовок квадратного перерізу замість традиційних циліндричних. Застосування квадратних заготовок може забезпечити більш інтенсивне пропрацювання структури металу пластичною деформацією, зменшення силових параметрів процесу та підвищення ефективності використання матеріалу. Водночас особливості формозміни металу при деформуванні таких заготовок потребують додаткових досліджень з метою визначення оптимальних параметрів технологічного процесу та конструкції штампового оснащення.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні програмні комплекси, засновані на методі скінченних елементів, дозволяють виконувати детальний аналіз процесів пластичного деформування без проведення великої кількості дорогих експериментів. Застосування програмного комплексу DEFORM 3D дає можливість дослідити течію металу, оцінити напружено-деформований стан, температурні поля та силові параметри процесу ще на етапі проектування технології.

Метою даної роботи є розроблення технології гарячого штампування порожнистого виробу із квадратної заготовки та дослідження особливостей процесу формоутворення методом скінченних елементів. Для досягнення поставленої мети виконано аналіз літературних джерел, розраховано параметри вихідних заготовок, проведено моделювання процесу гарячого штампування в програмному комплексі DEFORM 3D, виконано порівняння результатів для круглої та квадратної заготовок, а також розроблено конструкцію штампового оснащення для реалізації технологічного процесу. Практичне значення роботи полягає у визначенні раціональних параметрів гарячого штампування порожнистого виробу із квадратної заготовки та обґрунтуванні можливості її використання для підвищення ефективності технологічного процесу.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Одним із ефективних способів отримання порожнистих вісесиметричних виробів різної форми є точне об'ємне штампування з використанням операцій видавлювання [1–4]. Методика реалізації процесів гарячого зворотного видавлювання, а також рекомендації з проєктування технології та відповідного штампового інструменту наведені в джерелі [5].

Використання методу скінченних елементів (МСЕ) під час розрахунку параметрів процесів гарячого штампування дає можливість значно скоротити тривалість підготовки виробництва та зменшити пов'язані з нею витрати [6, 7]. Особливо доцільним є застосування МСЕ при розробленні технологій виготовлення виробів, для яких необхідно забезпечити заданий рівень пластичної деформації металу в усьому об'ємі або в окремих функціональних зонах. Це має важливе значення під час виробництва снарядів та гільз. Приклади визначення та оцінювання ступеня пропрацювання структури металу для конкретних деталей наведені в роботах [8–11]. Забезпечення необхідного рівня деформаційного впливу сприяє формуванню механічних властивостей металу, передбачених вимогами конструкторської документації.

У роботі [12] досліджено технологію гарячого комбінованого прямого-зворотного видавлювання порожнистих конічних деталей із високовуглецевої сталі. Основною метою дослідження було обґрунтування нового способу формоутворення таких виробів та визначення параметрів, необхідних для проєктування технологічного процесу.

Запропонований метод забезпечує отримання порожнистих конічних деталей за один технологічний перехід, при цьому товщина стінки може змінюватися по висоті виробу. Зокрема, у верхній частині деталі можливо сформувати стінку більшої товщини порівняно з донною зоною. На основі моделювання методом скінченних елементів встановлено раціональні розміри

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вихідної заготовки, які забезпечують одночасний рух металу в прямому та зворотному напрямках. Такий характер течії металу сприяє зниженню навантаження на пресове обладнання та зменшує силові параметри процесу.

Додатковою перевагою способу є зменшення нагрівання робочого інструменту завдяки скороченню площі контакту між заготовкою та деформувальними елементами штампа. У роботі також визначено допустимі швидкості деформування, що забезпечують необхідний температурний режим видавлювання. Отримано залежності технологічних зусиль від переміщення інструменту, проаналізовано формування геометрії виробу, а також розподіли температур, деформацій і напружень у процесі формоутворення.

Результати дослідження можуть бути використані для розроблення високопродуктивних технологій гарячого видавлювання на універсальному пресовому обладнанні. Крім того, запропоновано конструкцію штампа з примусовим охолодженням матриці для виготовлення виробів заданих геометричних параметрів..

У роботі [13] досліджено вплив швидкості деформування на перебіг процесу гарячого зворотного видавлювання осесиметричних порожнистих деталей. За результатами дослідження встановлено особливості зміни технологічних параметрів процесу залежно від швидкості деформації.

У праці [14] проведено порівняння процесів гарячого зворотного видавлювання порожнистих виробів із заготовок круглого та квадратного поперечного перерізу. Показано, що використання квадратних заготовок, вартість яких є нижчою порівняно з круглими, сприяє більш рівномірному та інтенсивному деформаційному опрацюванню металу як у донній частині, так і в стінках виробів.

У дослідженні [15] за допомогою програмного комплексу DEFORM-3D та методу скінченних елементів розроблено математичні моделі процесів гарячого зворотного видавлювання з роздачею порожнистих напівфабрикатів

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

із низьковуглецевої сталі. Аналіз виконано для циліндричних і квадратних вихідних заготовок. Окрім стадії формоутворення, розглянуто процеси вилучення пуансона та виштовхування отриманого напівфабрикату з матриці. Отримано залежності технологічних зусиль від переміщення робочих елементів штампа та встановлено, що при використанні круглої заготовки максимальне зусилля видавлювання приблизно на 8 % менше порівняно з квадратною.

Також визначено геометричні параметри отриманих напівфабрикатів і проаналізовано розподіли температур, напружень та деформацій після завершення процесу формоутворення. Ступінь опрацювання структури металу оцінювали за величиною інтенсивності деформацій. Встановлено, що застосування квадратної заготовки забезпечує збільшення рівня пластичного деформування металу приблизно на 12 % у стінках та на 16 % у донній частині напівфабрикату порівняно з круглою заготовкою.

У роботі [16] розглянуто підвищення точності геометричних параметрів круглих порожнистих напівфабрикатів, отриманих гарячим зворотним видавлюванням із заготовок квадратного перерізу. Такі напівфабрикати є вихідними заготовками для подальшого виготовлення виробів спеціального призначення, до яких висуваються підвищені вимоги щодо механічних властивостей металу в донній частині та по висоті стінки.

Застосування квадратних заготовок забезпечує більш інтенсивне деформаційне опрацювання металу під час видавлювання, проте супроводжується утворенням виступів на торці стінки напівфабрикату в зонах, що відповідають кутам вихідної заготовки. Це призводить до необхідності додаткової операції підрізання торця та збільшення втрат металу. Для усунення зазначеного недоліку запропоновано попередньо формувати фаски в кутових ділянках квадратної заготовки шляхом гарячого осаджування.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За допомогою методу скінченних елементів виконано моделювання процесів осаджування та подальшого гарячого зворотного видавлювання з роздачею. Визначено раціональні розміри фасок для маловуглецевої сталі, які дозволяють усунути утворення виступів на торці стінки готового напівфабрикату. Також отримано залежності технологічних зусиль від переміщення інструменту, визначено контактні навантаження на робочих поверхнях штампа та проаналізовано розподіли напружень, деформацій і температури в процесі формоутворення.

Крім того, проведено оцінювання ступеня опрацювання структури металу пластичною деформацією та запропоновано конструкцію штампового оснащення для реалізації процесів осаджування і видавлювання. У результаті встановлено геометричні параметри квадратної заготовки з фасками, які забезпечують отримання круглих порожнистих напівфабрикатів без утворення торцевих виступів.

У роботі [17] із застосуванням методу скінченних елементів та програмного комплексу DEFORM виконано математичне моделювання процесу гарячого видавлювання латунного осесиметричного порожнистого виробу, конструкція якого передбачає наявність виступів у донній частині. Особливу увагу приділено забезпеченню необхідного рівня пластичного деформування металу в зоні переходу від стінки до дна виробу, оскільки саме ця ділянка суттєво впливає на формування експлуатаційних властивостей деталі.

Для реалізації процесу використано схему зворотного видавлювання з роздачею в рухомій матриці (рис. 1.1). Особливістю даної схеми є застосування заготовки, діаметр якої менший за зовнішній діаметр готового виробу. Такий підхід забезпечує формування необхідної геометрії деталі при знижених силових параметрах процесу порівняно з традиційними схемами видавлювання [18].

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

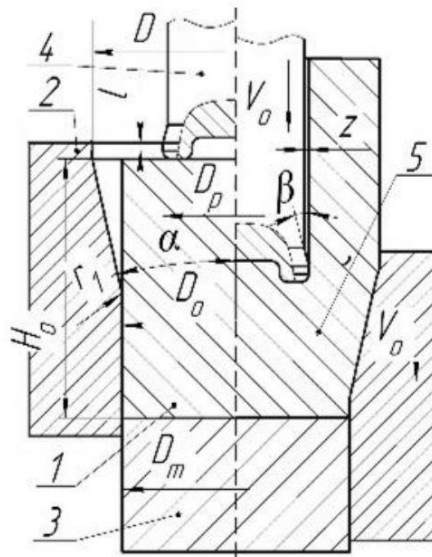


Рисунок 1.1 – Схема процесу видавлювання з роздачею в рухомій матриці:

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

На схемі ліворуч представлено початкове положення елементів оснащення та заготовки, а праворуч – стадію формоутворення під час видавлювання. Перед початком процесу заготовку 1 розміщують усередині рухомої матриці 2, спираючи її на виштовхувач 3. Деформація металу здійснюється пуансоном 4, який взаємодіє із заготовкою в процесі її формоутворення. Під час видавлювання пуансон і матриця переміщуються в одному напрямку зі швидкістю V_0 . У результаті деформування утворюється готовий виріб 5, зовнішній діаметр якого D перевищує початковий діаметр заготовки D_0 , що свідчить про наявність операції роздачі в процесі формоутворення.

Для дослідження процесу використовували циліндричну заготовку з латуні марки DIN-Cu-Zn28 діаметром 210 мм та висотою 52 мм. У розрахунках приймали коефіцієнт тертя 0,2, а швидкість деформування становила 40 мм/с. Початкова температура заготовки дорівнювала 850 °С, що відповідає верхній межі рекомендованого температурного діапазону гарячого видавлювання для даного матеріалу (670–850 °С).

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

З метою підтримання необхідних температурних умов протягом усього процесу передбачено нагрівання деформувального інструменту до температури 200 °С. Комп'ютерне моделювання виконували із використанням пластичної моделі матеріалу, що дозволяє враховувати особливості його поведінки в умовах гарячої пластичної деформації. Розрахункові схеми процесу для початкового та кінцевого етапів формоутворення наведені на рис. 1.2.

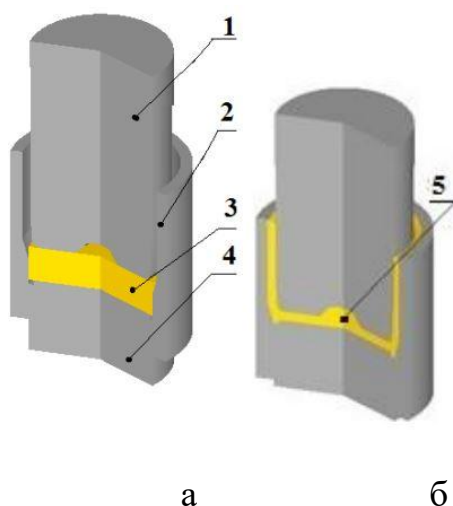


Рисунок 1.2 – Розрахункові схеми процесу гарячого видавлювання: а – на початку процесу; б – в кінці процесу

Згідно з розрахунковою схемою, пуансон 1 розташований у матриці 2 та контактує із заготовкою 3, встановленою на виштовхувачі 4. Формоутворення виробу 5 відбувається внаслідок одночасного переміщення пуансона та матриці в напрямку деформування.

У результаті чисельного аналізу визначено геометричні параметри пуансона і матриці, які забезпечують досягнення необхідного рівня пластичної деформації металу в заданій зоні виробу, де інтенсивність деформацій становить не менше $\varepsilon_i = 1,5$. Встановлено кінцеву форму та розміри отриманої деталі, а також отримано залежність зусилля видавлювання від ходу інструменту. Максимальне значення зусилля зафіксовано на завершальній стадії процесу і становить 0,74 МН.

Крім того, досліджено розподіл контактних навантажень між заготовкою та робочими поверхнями інструменту, що є важливим для проєктування штампового оснащення. Проаналізовано напружено-деформований стан металу при максимальному навантаженні, а також зміну температурного поля

та геометрії виробу в процесі формоутворення. Для оцінювання ступеня деформаційного опрацювання структури матеріалу використано розподіл інтенсивності деформацій, за яким визначено характер пластичної течії металу в об'ємі заготовки.

У роботі [19] представлено результати скінченно-елементного моделювання технології гарячого штампування порожнистого виробу з маловуглецевої сталі, спрямованої на забезпечення інтенсивного деформаційного опрацювання металу як у стінці, так і в донній частині деталі. Технологічний процес включає два послідовні переходи.

На першому етапі методом зворотного видавлювання формується порожнистий напівфабрикат із характерними виступами в донній зоні з боку внутрішньої порожнини та на зовнішньому торці дна. Подальше формоутворення здійснюється на другому переході шляхом витягування з потоншенням через дві послідовно встановлені матриці з одночасним остаточним формуванням донної частини виробу. Такий підхід дозволяє отримати необхідні геометричні параметри та забезпечити заданий розподіл пластичної деформації в матеріалі.

У ході дослідження визначено раціональні значення швидкості деформування та температури підігріву інструменту, необхідні для підтримання температурного режиму гарячого штампування протягом виконання обох переходів. Для кожної стадії процесу встановлено силові параметри та досліджено розподіл контактних навантажень на робочих поверхнях інструменту.

Ступінь опрацювання структури металу оцінювали за величиною інтенсивності деформацій. Також визначено допустимі ступені деформації під час операції витягування з потоншенням. Наведено результати аналізу температурних полів після виконання видавлювання та витягування, а також розподіли інтенсивності деформацій на різних стадіях формоутворення.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Показано, що процес витягування з потоншенням сприяє більш рівномірному розподілу деформацій по товщині та висоті стінки виробу. За результатами моделювання встановлено кінцеву геометрію деталі, яка відповідає заданим конструктивним вимогам (рис. 1.3).

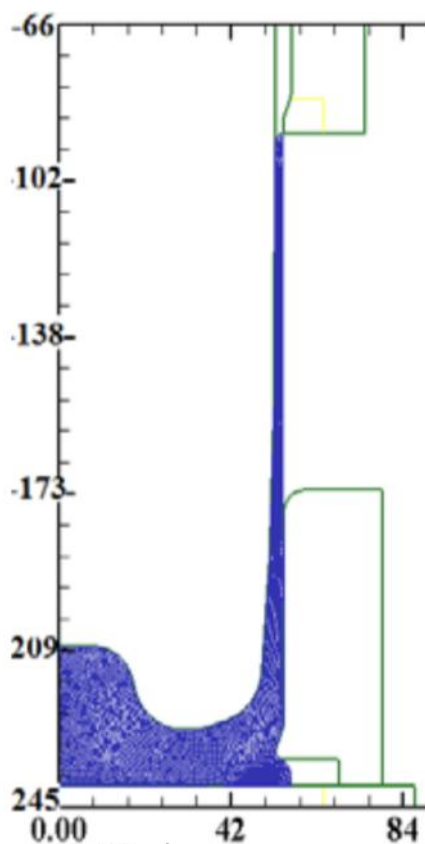


Рисунок 1.3 – Кінцеві форма та розміри виробу після процесу гарячого видавлювання та послідуочого витягування з потоншенням

У роботі [20] досліджено вплив основних технологічних параметрів на процес глибокого витягування листового алюмінієвого сплаву 7075. Особливу увагу приділено трьом факторам, які суттєво впливають на якість формоутворення: температурі заготовки, радіусу заокруглення інструменту та швидкості штампування.

Для оцінювання впливу зазначених параметрів автори використали комплексний підхід, що поєднує чисельне моделювання методом скінченних

елементів і статистичний аналіз за методом Тагучі. Така методика дозволила визначити ступінь впливу кожного з досліджуваних факторів на характеристики процесу глибокого витягування та встановити їх раціональні значення.

Чисельне моделювання виконували в програмному комплексі DEFORM-2D із використанням ортогонального плану експерименту. На основі аналізу деформованого стану отриманих виробів та результатів дисперсійного аналізу (ANOVA) встановлено, що найбільший вплив на якість формоутворення алюмінієвої заготовки має температура нагрівання. Меншою, але також суттєвою мірою на процес впливають швидкість штампування та радіус заокруглення робочих елементів штампа.

У роботі [21] проведено чисельне дослідження процесу зворотного видавлювання циліндричної чашки зі сплаву In718 за різних технологічних умов. Особливу увагу приділено аналізу еволюції зеренної структури в різних зонах виробу під час формоутворення. За результатами моделювання встановлено, що найбільш сприятливі умови для формування дрібнозернистої та однорідної структури забезпечуються при температурі деформування 1000–1050 °C і швидкості видавлювання 5 мм/с.

У дослідженні [22] із застосуванням програмного забезпечення DEFORM-3D продемонстровано ефективність комп'ютерного моделювання при розробленні технологічних процесів пластичного формоутворення. Показано, що використання чисельних методів дозволяє прогнозувати геометричні параметри виробів, аналізувати напружено-деформований стан матеріалу та забезпечувати необхідний рівень фізико-механічних властивостей готових деталей ще на етапі проєктування технології.

У роботі [23] розглянуто особливості чисельного моделювання процесу зворотного видавлювання та наведено результати аналізу формоутворення деталей із використанням рухомого контейнера. Дослідження виконували в

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмному комплексі DEFORM, де для опису поведінки матеріалу БрБ2 використовували механічні характеристики, отримані експериментально під час випробувань на розтяг. Моделювання проводили для заготовок діаметром 60 мм з формуванням виробів, у яких товщина донної частини становила 2 та 5 мм. У роботі представлено результати аналізу напружено-деформованого стану матеріалу, а також залежності технологічного зусилля від переміщення інструменту. Отримані дані порівняно з теоретичними розрахунками, виконаними за методиками Дмитрієва О.М. та Овчинникова О.Г., що дозволило оцінити достовірність чисельного моделювання.

У джерелі [24] дослідження процесу гарячого зворотного видавлювання проведено із застосуванням програмного комплексу QForm. Основною метою моделювання було визначення закономірностей течії металу, аналіз напруженого стану заготовки та оцінка зміни її форми в процесі деформування. Вихідними даними для розрахунків слугували геометричні параметри заготовки, температурні режими, граничні умови контакту та швидкість переміщення пуансона. Отримані результати дозволили простежити особливості формоутворення виробу та розподіл напружень у процесі гарячого деформування.

У роботі [25] досліджено процес зворотного видавлювання деталей із застосуванням технологічної схеми, що передбачає зустрічне переміщення контейнера. Для перевірки адекватності чисельної моделі результати експериментальних досліджень було зіставлено з даними, отриманими в програмному комплексі DEFORM-3D. Експерименти виконували на сталевих заготовках зі сталі 60, з яких формували напівфабрикати діаметром 36 та 60 мм. Отримані залежності технологічних параметрів процесу наведено у вигляді графічних результатів та порівняно з аналітичними розрахунками, виконаними за методиками Овчинникова О.Г. і Шофмана Л.А., що дозволило оцінити точність чисельного прогнозування.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

У дослідженні [26] методом скінченних елементів проаналізовано вплив швидкості деформування на процес гарячого зворотного видавлювання з попереднім осаджуванням високовуглецевої сталі. Об'єктом дослідження був осесиметричний порожнистий виріб із виступом у донній частині (рис. 1.4). Швидкість переміщення пуансона змінювали в широкому діапазоні — від 50 до 400 мм/с, що дозволило оцінити її вплив на перебіг процесу формоутворення.

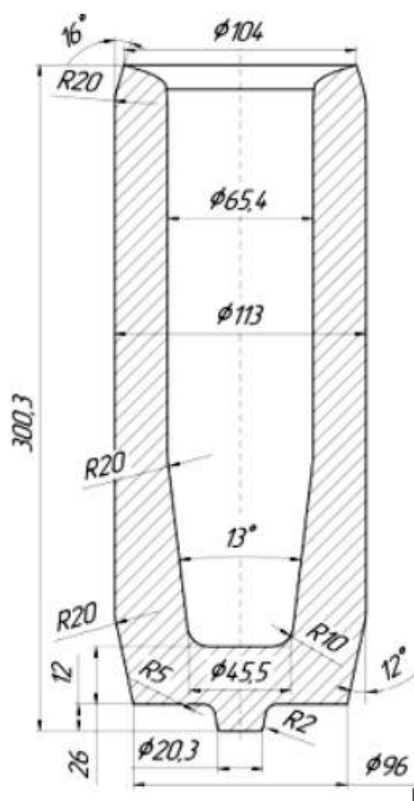


Рисунок 1.4 – Форма та розміри виробу з виступом на торці донної частини.

Крім стадії видавлювання, виконано аналіз допоміжних операцій, зокрема вилучення пуансона із деформованої заготовки та виштовхування готового виробу з матриці (рис. 1.5). За результатами моделювання отримано залежності силових параметрів від переміщення відповідних елементів оснащення. Встановлено закономірності зміни зусилля видавлювання залежно від ходу пуансона, а також зусиль вилучення та виштовхування під час

завершальних стадій технологічного процесу. Отримані результати можуть бути використані для вибору раціональних режимів деформування та проєктування штампового оснащення.

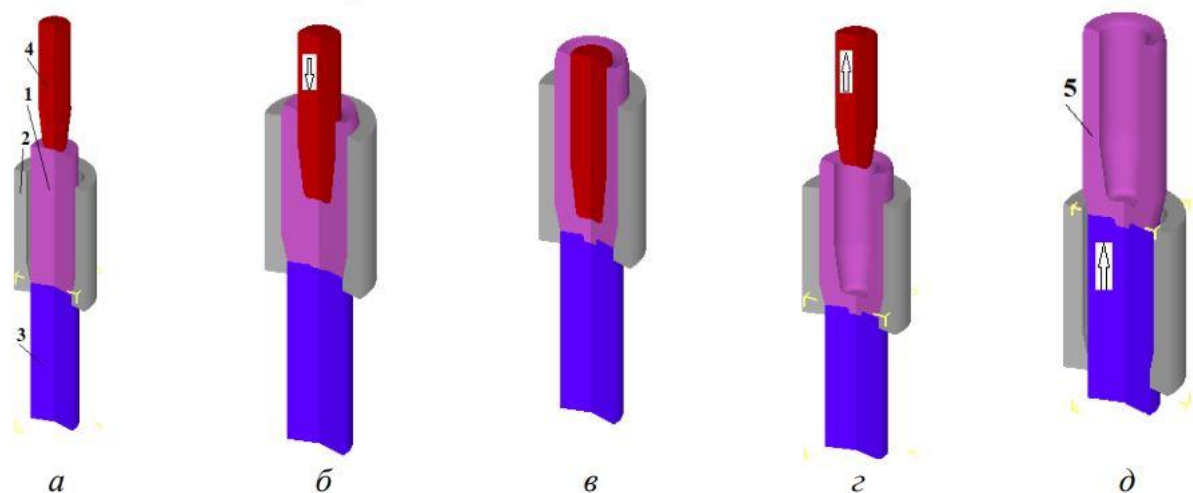


Рисунок 1.5 – Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструмента при видавлюванні з осаджуванням:

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

На основі аналізу нормальних напружень визначено характер розподілу контактних навантажень на робочих поверхнях пуансона, виштовхувача та матриці. Встановлено, що збільшення швидкості деформування від 50 до 200 мм/с супроводжується помітним зменшенням зусилля формоутворення, тоді як подальше підвищення швидкості не спричиняє суттєвих змін силових параметрів процесу. За результатами дослідження сформульовано рекомендації щодо вибору пресового обладнання для реалізації розглянутої технології.

Для завершальної стадії видавлювання з осаджуванням проаналізовано температурний стан металу, а також розподіли напружень і деформацій у

виробі. Окремо досліджено охолодження металу в приповерхневих шарах, що контактують із деформувальним інструментом. Чисельне моделювання дозволило визначити кінцеву геометрію виробу та встановити необхідність додаткової операції механічного підрізання торця стінки для забезпечення його рівності.

Оцінювання ступеня деформаційного опрацювання матеріалу виконано за розподілом інтенсивності деформацій у стінці та донній частині виробу. Показано, що поєднання операцій зворотного видавлювання та осаджування сприяє більш глибокому пластичному деформуванню металу та забезпечує рівномірніший розподіл деформацій по перерізу стінки порівняно з традиційними схемами формоутворення.

У роботі [27] досліджено технологію гарячого комбінованого прямого-зворотного видавлювання порожнистих конічних виробів із високовуглецевої сталі (рис. 1.6). Метою дослідження було обґрунтування нового способу формоутворення та визначення технологічних параметрів, необхідних для його практичного впровадження.

Запропонована схема дозволяє отримувати порожнисті вироби зі змінною товщиною стінки за один технологічний перехід. При цьому можливе формування виробів, у яких товщина стінки у верхній частині перевищує товщину в донній зоні. Для аналізу процесу використано метод скінченних елементів, за допомогою якого визначено раціональні розміри вихідної заготовки, що забезпечують одночасну течію металу в прямому та зворотному напрямках під час деформування (рис. 1.7).

Встановлено, що реалізація такого характеру течії металу сприяє зниженню зусилля видавлювання порівняно з традиційними схемами формоутворення. Крім того, зменшення площі контакту між заготовкою та інструментом дозволяє знизити інтенсивність нагрівання робочих елементів

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

штампа, що позитивно впливає на їхню довговічність і стабільність технологічного процесу.

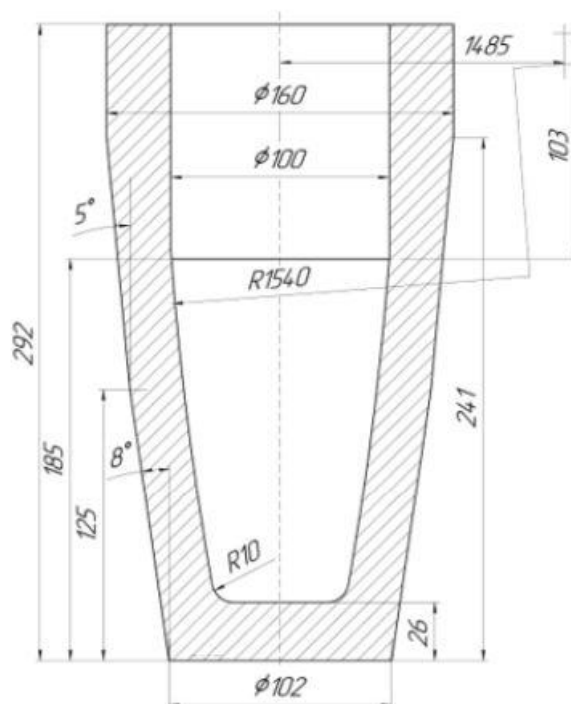


Рисунок 1.6 – Ескіз виробу із високовуглецевої сталі

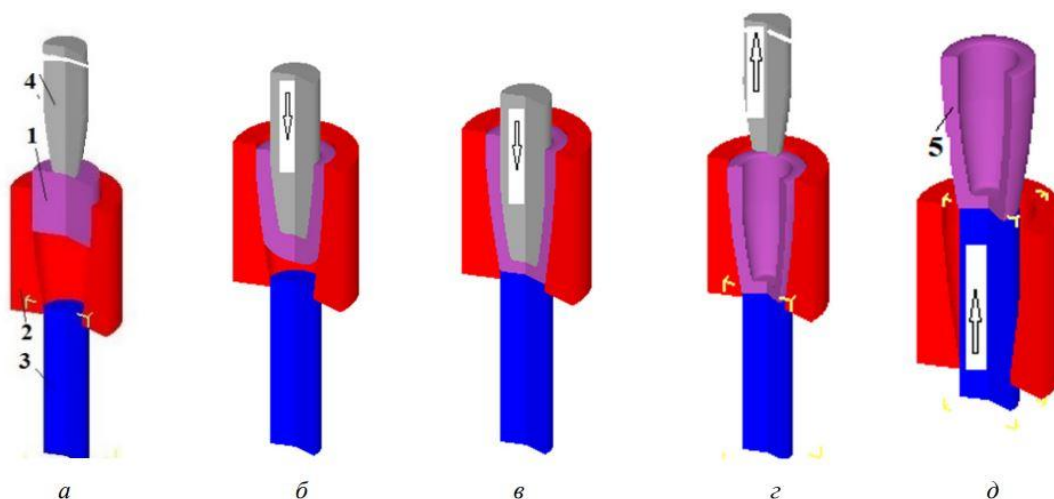


Рисунок 1.7 – Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструмента при видавлюванні конічних виробів:

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

У результаті дослідження визначено раціональну швидкість деформування, яка забезпечує підтримання необхідного температурного режиму під час процесу видавлювання. Отримано залежності між технологічними зусиллями та переміщенням робочих елементів оснащення, зокрема для стадій видавлювання, вилучення пуансона з деформованої заготовки та виштовхування готового виробу з матриці.

За результатами чисельного аналізу встановлено кінцеві геометричні параметри виробу, а також досліджено розподіли температури та деформацій у металі після завершення формоутворення. Для моменту досягнення максимального зусилля видавлювання визначено контактні навантаження на поверхнях пуансона, матриці та виштовхувача, а також проаналізовано напружений стан матеріалу по всьому об'єму заготовки.

Отримані результати можуть бути використані під час розроблення технології комбінованого прямого-зворотного видавлювання, яка може реалізовуватися на універсальному пресовому обладнанні. Перевагою запропонованого підходу є підвищення продуктивності за рахунок скорочення кількості технологічних переходів. Крім того, у роботі запропоновано конструкцію штампа з системою примусового охолодження матриці, призначену для виготовлення виробів заданих геометричних параметрів.

У роботі [28] запропоновано технологію гарячого об'ємного штампування порожнистих деталей типу «чаша» та «стакан». Процес реалізується у три послідовні стадії. Спочатку на торцевій частині заготовки формують локальне потовщення шляхом осаджування. Далі отриманий напівфабрикат перетворюють у заготовку типу шайби, після чого виконують операцію видавлювання, яка забезпечує формування кінцевої порожнистої деталі необхідної конфігурації.

У дослідженні [29] розглянуто спосіб виготовлення порожнистих виробів як із фланцями, так і без них. Технологія передбачає попередній нагрів

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заготовки та її подальше деформування у штампі за певного співвідношення температур заготовки та інструменту. Встановлено, що раціональне співвідношення цих температур повинно знаходитися в межах від 0,7 до 7,4. Температурний режим нагрівання визначається властивостями матеріалу заготовки та підбирається залежно від його марки і умов гарячого деформування.

У роботі [30] описано спосіб гарячого штампування порожнистих виробів із періодично змінним профілем зовнішньої поверхні. Особливістю технології є формування виробу за один робочий хід пуансона. Формоутворення зовнішньої поверхні здійснюється в розбірній втулці, розташованій у контейнері преса. Застосування такої схеми дозволяє зменшити теплові навантаження на інструмент і заготовку, а також покращити якість поверхні готового виробу.

У джерелі [31] наведено технологію виготовлення деталей типу «Кришка» методом гарячого об'ємного штампування. Вихідну сталеву заготовку нагрівають до температурного інтервалу між критичною температурою повного аустенітного перетворення та максимально допустимою температурою завершення гарячого деформування. Після цього виконують видавлювання порожнистого виробу стаканоподібної форми в умовах об'ємного нерівномірного стиску зі ступенем деформації понад 50 %. Завершальним етапом є зміцнювальна термічна обробка, яка забезпечує покращення механічних та експлуатаційних характеристик готової деталі.

У роботі [32] за допомогою методу скінченних елементів виконано дослідження процесу гарячого штампування порожнистого виробу зі сплаву В93пч. Основною метою дослідження було визначення таких параметрів технологічного процесу, які забезпечують необхідний рівень пластичного деформування металу та формування заданих механічних властивостей стінки виробу після проведення термічної обробки.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У ході чисельного моделювання встановлено раціональні геометричні параметри вихідної заготовки (рис. 1.8), температурні режими роботи інструменту, силові характеристики процесу штампування та виштовхування виробу з матриці. Крім того, визначено контактні навантаження на робочих поверхнях інструменту, досліджено зміну температурного стану металу під час деформування, проаналізовано напружено-деформований стан заготовки та отримано кінцеві геометричні параметри виробу.

На основі результатів розрахункового аналізу (рис. 1.9) було розроблено конструкцію штампового оснащення, виготовлено дослідний штамп і проведено експериментальну перевірку технології на гідравлічному пресі. Для оцінювання якості отриманих виробів після термічної обробки виконано механічні випробування стандартних зразків, вирізаних зі стінки деталі. За результатами випробувань визначено межу текучості, тимчасовий опір розриву, відносне подовження та твердість матеріалу. Встановлено, що отримані значення механічних характеристик відповідають вимогам, які висуваються до металу стінки готового виробу.

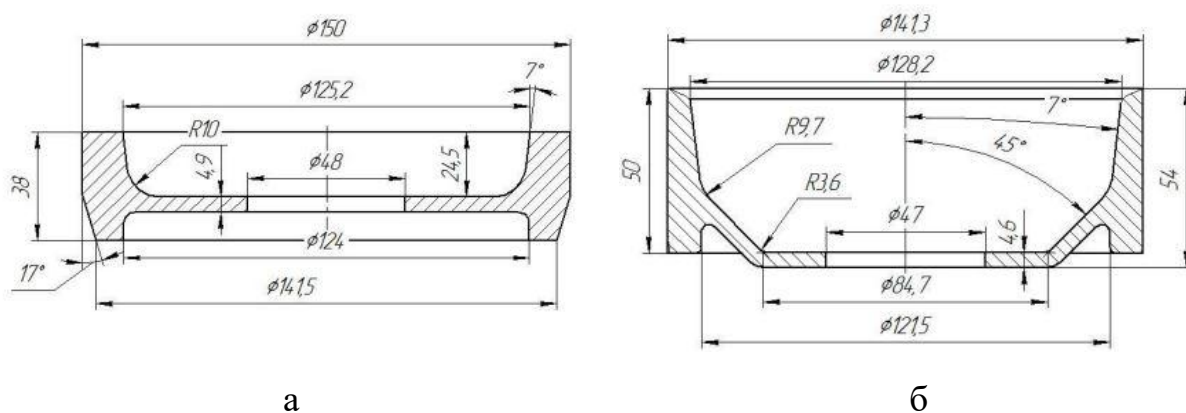


Рисунок 1.8 – Ескіз порожнистого виробу із високоміцного алюмінієвого сплаву В93пч (а) та розрахункові форма й розміри вихідної заготовки (б)

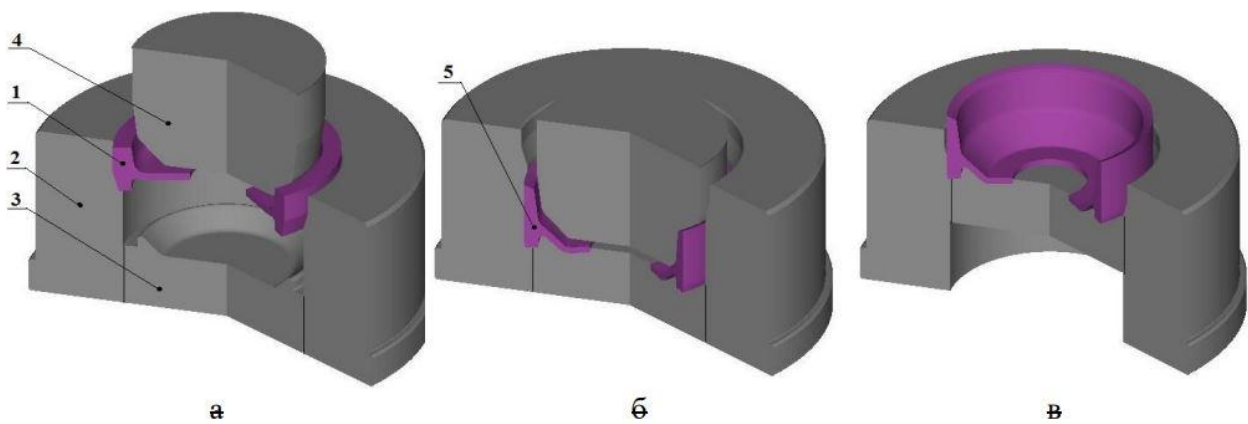


Рисунок 1.9 – Розрахункові положення деформуючого інструменту в розрізі при штампуванні:

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

Висновки по розділу

Проведений аналіз наукових публікацій, патентів та результатів чисельного моделювання процесів гарячого штампування показав, що для виготовлення вісесиметричних порожнистих виробів широко застосовуються процеси гарячого зворотного та комбінованого прямого-зворотного видавлювання. Зазначені технології забезпечують отримання деталей складної форми з високою точністю геометричних параметрів і раціональним використанням матеріалу.

Встановлено, що сучасні дослідження процесів гарячого штампування переважно базуються на використанні методу скінченних елементів, реалізованого в програмних комплексах DEFORM та QForm. Застосування чисельного моделювання дозволяє визначати раціональні параметри технологічних процесів, прогнозувати силові режими деформування, температурний стан заготовки, напружено-деформований стан матеріалу, а

також оцінювати ступінь опрацювання структури металу пластичною деформацією ще на етапі проєктування технології.

За результатами аналізу встановлено, що одним із найважливіших факторів, які впливають на якість виробів і перебіг процесу гарячого штампування, є температура деформування. Значний вплив також мають швидкість переміщення інструменту, геометрія заготовки та конструкція штампового оснащення. Рациональний вибір цих параметрів забезпечує зниження технологічних зусиль, підвищення стійкості інструменту та покращення структури і властивостей металу.

Особливу увагу в літературі приділено питанням забезпечення необхідного рівня пластичного деформування металу в донній частині та стінках порожнистих виробів. Встановлено, що інтенсивність деформацій безпосередньо впливає на формування механічних властивостей після термічної обробки. Тому в багатьох роботах оцінювання якості технологічних процесів здійснюється за розподілом інтенсивності деформацій у виробі.

Аналіз досліджень гарячого зворотного видавлювання показав, що використання заготовок квадратного перерізу забезпечує більш інтенсивне опрацювання структури металу порівняно з круглими заготовками, особливо в донній частині виробу. Це дозволяє підвищити рівень пластичної деформації та покращити механічні властивості готових деталей. Разом з тим застосування квадратних заготовок супроводжується утворенням виступів на торці стінки напівфабрикату, що потребує додаткових технологічних операцій та призводить до збільшення витрат металу.

У ряді робіт запропоновано способи усунення зазначеного недоліку шляхом попереднього осаджування кутових зон квадратної заготовки з утворенням фасок перед виконанням операції видавлювання. Результати моделювання показали можливість отримання порожнистих напівфабрикатів

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

без торцевих виступів при збереженні високого рівня опрацювання структури металу.

Таким чином, аналіз літературних джерел підтверджує перспективність використання квадратних заготовок для гарячого штампування порожнистих виробів. Водночас актуальним залишається завдання визначення раціональних параметрів технологічного процесу, які забезпечують отримання виробів необхідної форми та розмірів, мінімізацію технологічних відходів і досягнення заданого рівня механічних властивостей. Саме вирішенню цих питань присвячена дана бакалаврська робота.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заданий порожнистий виріб виготовляється із сталі С45 EN10083.

Для визначення розмірів вихідної заготовки спочатку знайдемо об'єм порожнистого виробу за допомогою програми SolidWorks (рис. 2.2):

$$V_{\text{вир}} = 2043640 \text{ мм}^3$$

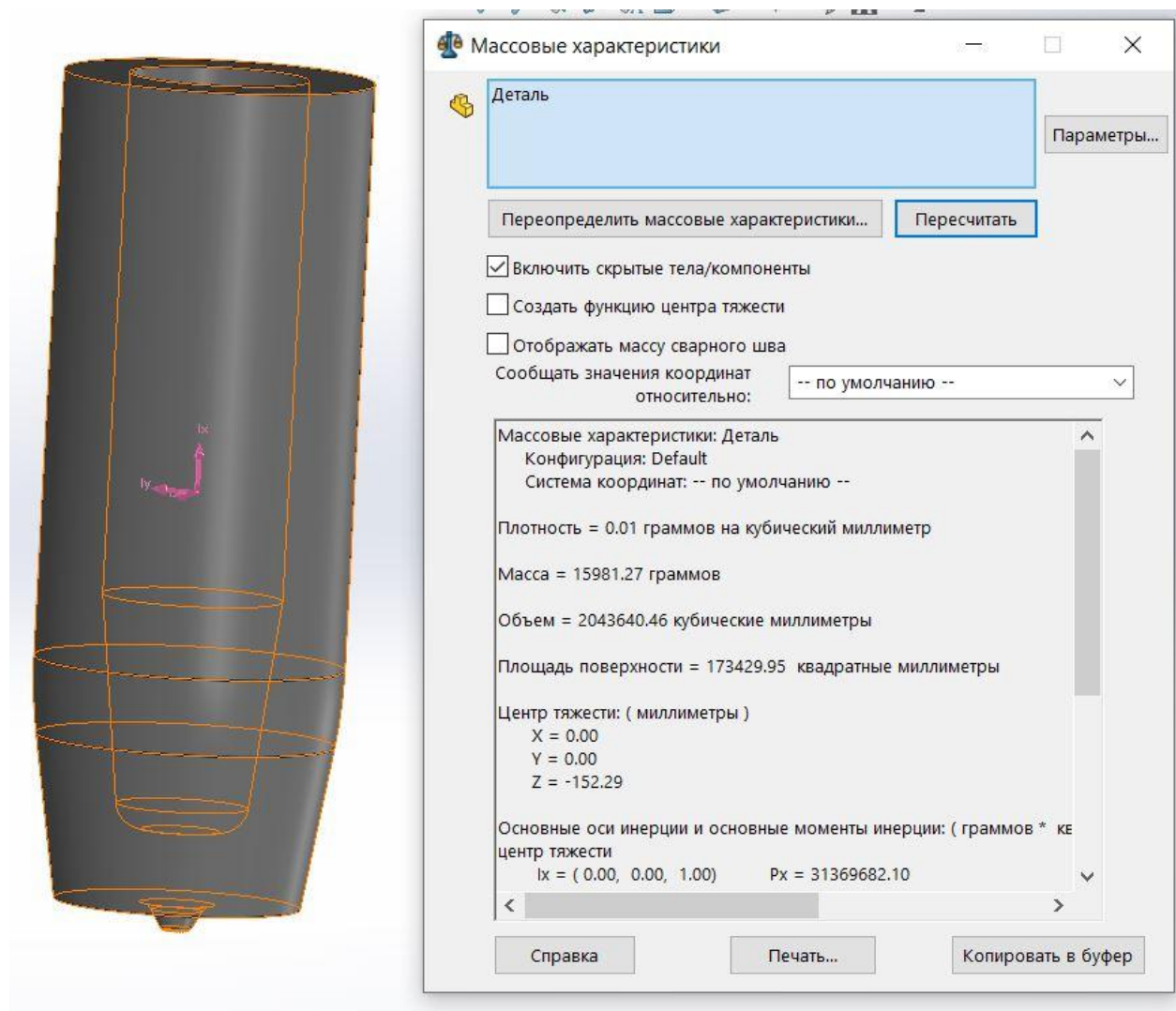


Рис. 2.2. Об'єм порожнистого виробу.

Для визначення об'єму та розмірів вихідної заготовки врахуємо також технологічні втрати об'єму при термічній обробці (0,5-1% від об'єму виробу) та технологічні втрати об'єму при травленні (1-2% від об'єму виробу). Тоді, об'єм заготовки:

$$V_{\text{заг}} = 1,03 \cdot V_{\text{вир}} = 1,03 \cdot 2043640 = 2104949 \text{ мм}^3$$

Для виготовлення порожнистого виробу використаємо та порівняємо циліндричну та квадратну заготовки.

Спочатку розрахуємо розміри циліндричної заготовки. Приймаємо діаметр циліндричної заготовки $D_{\text{заг}} = 101,5$ мм. Для центрування заготовки в матриці виконуємо фаску висотою $H_{\phi 1} = 28$ мм та визначимо її об'єм, що показано на рис. 2.3:

$$V_{\phi 1} = 204970 \text{ мм}^3$$

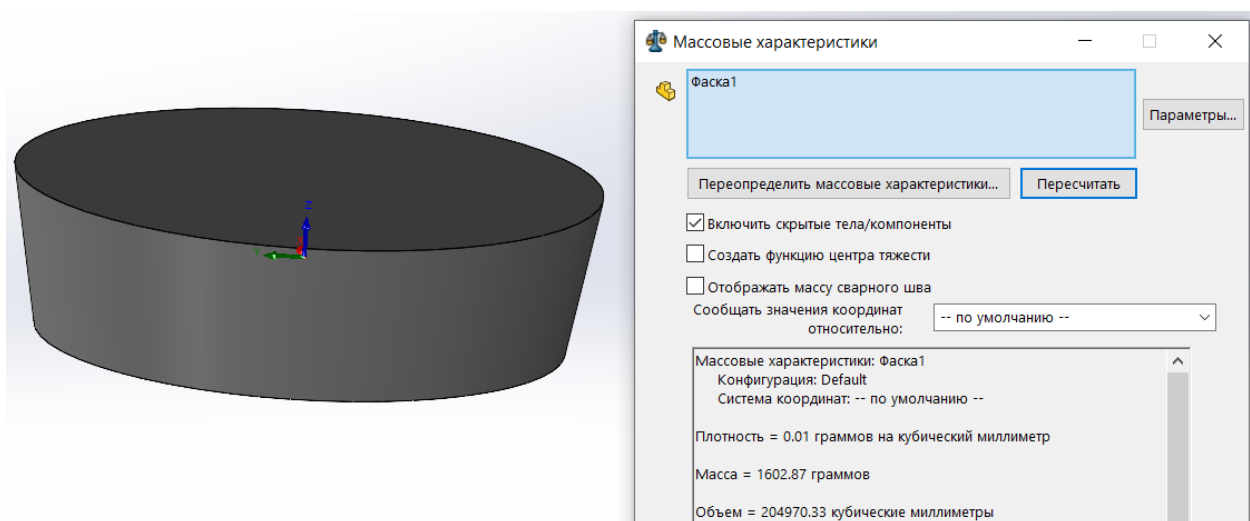


Рис. 2.3. Об'єм фаски циліндричної заготовки.

Знайдемо тепер висоту циліндричної частини заготовки:

$$H_{\text{цил}} = \frac{4 \cdot (V_{\text{заг}} - V_{\phi 1})}{\pi \cdot D_{\text{заг}}^2} = \frac{4 \cdot (2104949 - 204970)}{\pi \cdot 101,5^2} = 238,6 \text{ мм}$$

Тоді, повна висота циліндричної заготовки:

$$H_{\text{заг1}} = H_{\text{цил}} + H_{\phi 1} = 238,6 + 28 = 266,6 \text{ мм}$$

Ескіз циліндричної заготовки показано на рис. 2.4.

Тепер визначимо розміри квадратної заготовки. Приймаємо квадратну заготовки розміром 81,2x81,2 мм. Для центрування заготовки в матриці виконуємо фаску висотою $H_{\phi 2} = 37$ мм та визначимо її об'єм, що показано на рис. 2.5:

$$V_{\phi 2} = 242232 \text{ мм}^3$$

Знайдемо тепер висоту квадратної частини заготовки:

$$H_{\text{кв}} = \frac{V_{\text{вир}} - V_{\phi 2}}{A_{\text{заг}}^2} = \frac{2104949 - 242232}{81,2^2} = 287,3 \text{ мм}$$

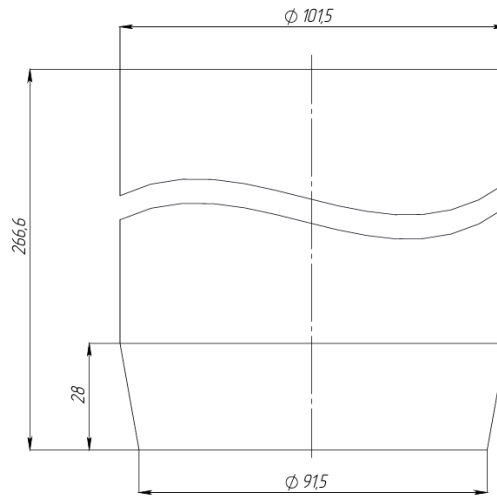


Рис. 2.4. Ескіз циліндричної заготовки.

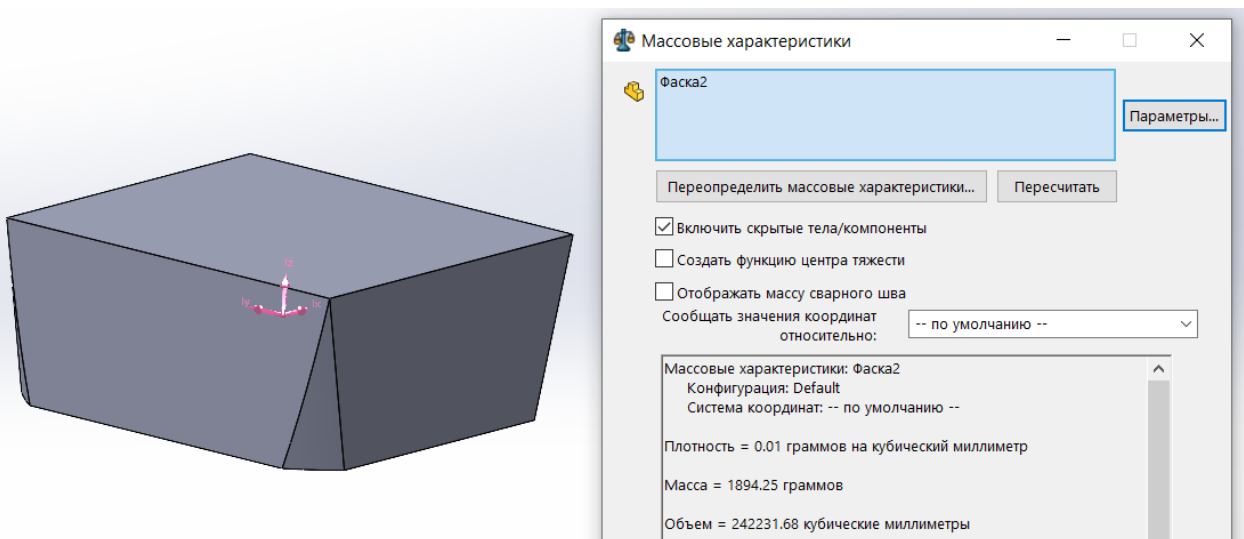


Рис. 2.5. Об'єм фаски квадратної заготовки.

Тоді, повна висота квадратної заготовки:

$$H_{\text{заг2}} = H_{\text{кв}} + H_{\phi 2} = 287,3 + 37 = 324,3 \text{ мм}$$

Ескіз квадратної заготовки показано на рис. 2.6.

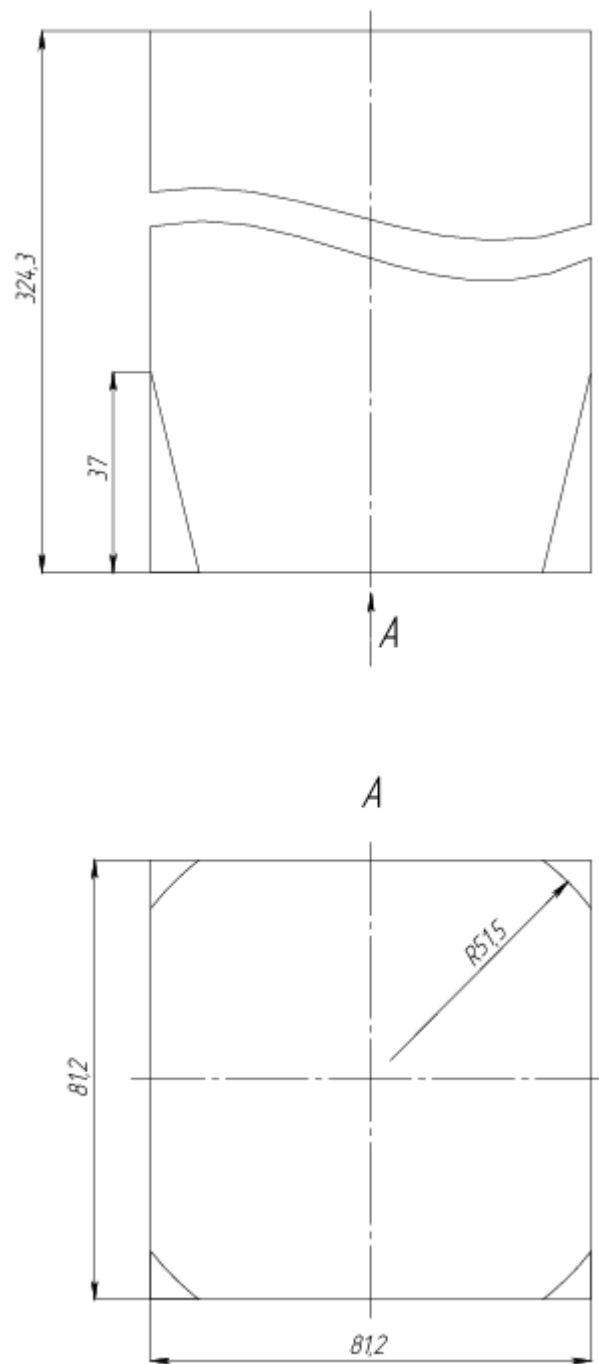


Рис. 2.6. Ескіз квадратної заготовки.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ОТРИМАННЯ ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ З ЦИЛІНДРИЧНОЇ ТА КВАДРАТНОЇ ЗАГОТОВОК

3.1. Моделювання процесу гарячого штампування отримання порожнистого виробу з циліндричної заготовки

Моделювання процесу гарячого штампування проводили методом скінченних елементів у програмному середовищі DEFORM 3D. Поведінка матеріалу описувалася пластичною моделлю деформування. У розрахунках початкову температуру заготовки задавали на рівні 1000 °С, а швидкість переміщення пуансона становила $V_0 = 60$ мм/с, що відповідало умовам гарячого деформування. Температуру деформувального інструменту приймали рівною 20 °С. Для моделювання контактної взаємодії використовували закон тертя Зібеля з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,3$.

На рис. 3.1 наведено послідовність формоутворення під час моделювання процесу видавлювання заготовки круглого перерізу. На рисунку показано взаємне розташування деформувального інструменту на різних стадіях процесу, зміну геометрії заготовки внаслідок пластичної деформації та кінцеву форму отриманого виробу.

На рис. 3.1а показано початкову стадію процесу, на якій у поздовжньому перерізі представлені половина круглої заготовки 1, пуансон 2, матриця 3 та виштовхувач 4. Проміжний етап формоутворення наведено на рис. 3.1б, де відображено процес пластичного деформування заготовки під дією інструменту. Кінцева стадія видавлювання представлена на рис. 3.1в, де показано сформований виріб 5 після завершення процесу. Загальна величина робочого переміщення пуансона 2 становила 250 мм.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

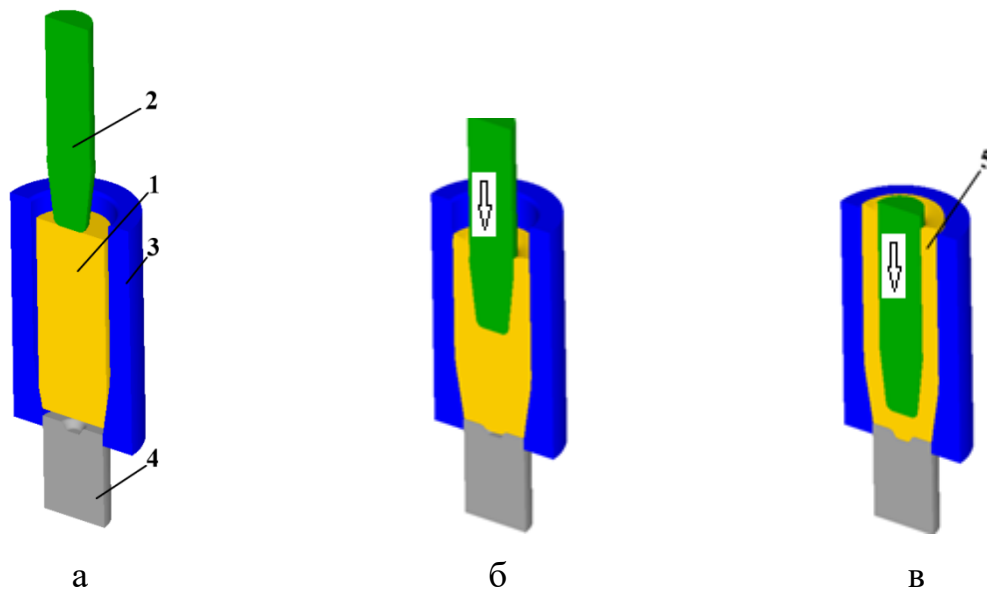


Рис. 3.1. Положення інструменту, зміна форми заготовки та отримання виробу при моделюванні заготовки круглого перерізу (1 – заготовка, 2 – пуансон, 3 – матриця, 4 – виштовхувач, 5 – виріб)

Для обґрунтованого вибору пресового обладнання, проектування штампового оснащення, призначення матеріалів робочих елементів інструменту та визначення необхідної кількості бандажних кілець матриці важливим є встановлення силових параметрів процесу деформування і контактних навантажень на робочих поверхнях інструменту. Оцінювання питомих зусиль здійснювали за розподілами нормальних напружень σ_n на поверхнях контакту заготовки з інструментом, які були отримані в результаті чисельного моделювання в програмному комплексі DEFORM.

На рис. 3.2 наведено залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона для заготовки круглого перерізу. Аналіз отриманих результатів показав, що в процесі деформування навантаження на пуансон безперервно збільшується зі зростанням його робочого ходу. Найбільше значення зусилля спостерігається на завершальній стадії процесу та становить 766 кН.



Рис. 3.2. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона

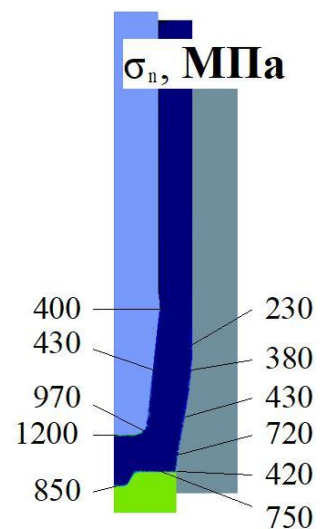


Рис. 3.3. Розподіл нормальних напружень

На рис. 3.3 представлено розподіл нормальних напружень σ_n на контактних поверхнях інструменту під час видавлювання заготовки круглого перерізу. Аналіз результатів показав, що найбільші питомі навантаження виникають у зоні контакту торцевої поверхні пуансона з металом виробу, де значення σ_n знаходяться в межах 970–1200 МПа. На поверхні взаємодії виробу з виштовхувачем нормальні напруження змінюються від 420 до 850 МПа, тоді як на конічній робочій поверхні матриці їх величина становить 430–720 МПа. Отримані результати свідчать, що рівень контактних навантажень на матрицю не перевищує допустимих значень для обраної конструкції. Тому застосування бандажних кілець для зміцнення матриці в даному випадку не є необхідним.

На рис. 3.4 наведено температурне поле, сформоване в об'ємі чверті виробу після завершення процесу видавлювання круглої заготовки. Аналіз результатів моделювання показав нерівномірний розподіл температури в різних зонах виробу, що обумовлено інтенсивністю пластичної деформації та теплообміном між металом і деформувальним інструментом. Найвищі температури, в межах 900–970 °С, спостерігаються у внутрішніх шарах металу верхньої частини стінки виробу. У приповерхневих зовнішніх шарах цієї

ділянки температура знижується до 740–820 °С внаслідок тепловідведення в навколишнє середовище та контакту з інструментом. У донній частині виробу температура змінюється в діапазоні 740–1000 °С. Водночас у зонах, що безпосередньо контактують з пуансоном, відбувається інтенсивніше охолодження металу, внаслідок чого температура знижується до 590–670 °С. Найменші значення температури зафіксовані на ділянках контакту металу з конічною поверхнею матриці, де вони становлять 520–590 °С. Отримані результати свідчать про суттєвий вплив контактного теплообміну на температурний стан заготовки під час формоутворення та можуть бути використані для оцінювання умов гарячого деформування в різних зонах виробу.

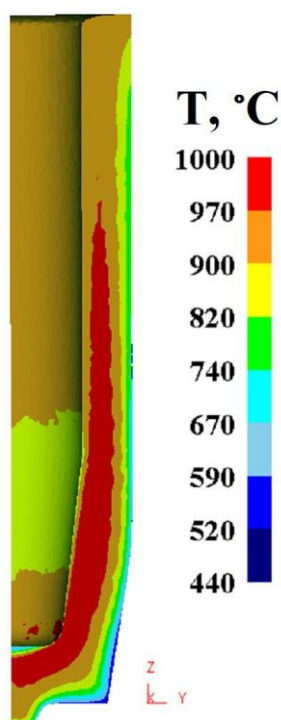


Рис. 3.4. Розподіл температури в об'ємі четвертої частини виробу в кінці видавлювання заготовки круглого перерізу

Моделюванням встановлено напружено-деформований стан, який отримано в кінці процесу видавлювання. На рис. 3.5 зображено розподіли

інтенсивності σ_i та компонент напружень σ_x , σ_y та σ_z у четвертій частині виробів.

Інтенсивність напружень (рис. 3.5а) знаходиться в межах $\sigma_i = 0 \div 400$ МПа. У верхній частині стінки виробу виникають розтягувальні напруження у межах $\sigma_z = 0 \div 82$ МПа. У стінці біля донної частини виробу ці напруження стають стискаючими $\sigma_z = -550 \div -130$ МПа, а у донній частині вони досягають значень у межах $\sigma_z = -1400 \div -960$ МПа. Дещо зменшуються розтягувальні напруження σ_y та σ_x у верхній частині стінки і знижуються по абсолютній величині стискаючі напруження σ_y та σ_x у нижній частині стінки та донній частині виробу.

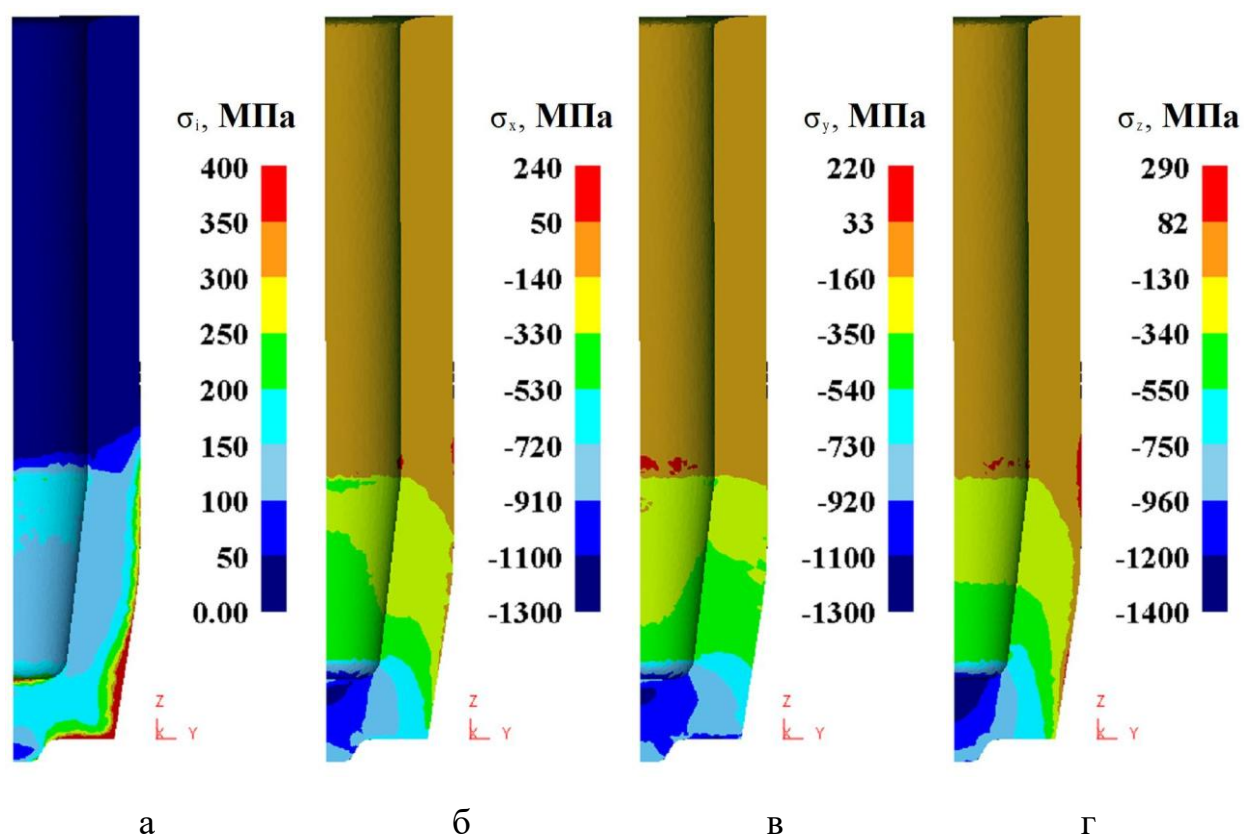


Рис. 3.5. Розподіли інтенсивності та компонент напружень у четвертій частині виробу в кінці видавлювання заготовки круглого перерізу:

а – інтенсивність напружень σ_i , б – напруження σ_x , в – напруження σ_y , г – напруження σ_z

Розподіли кінцевих деформацій ε_x , ε_y , ε_z , та інтенсивності деформацій ε_i у четвертій частині виробу представлено на рис. 3.6.

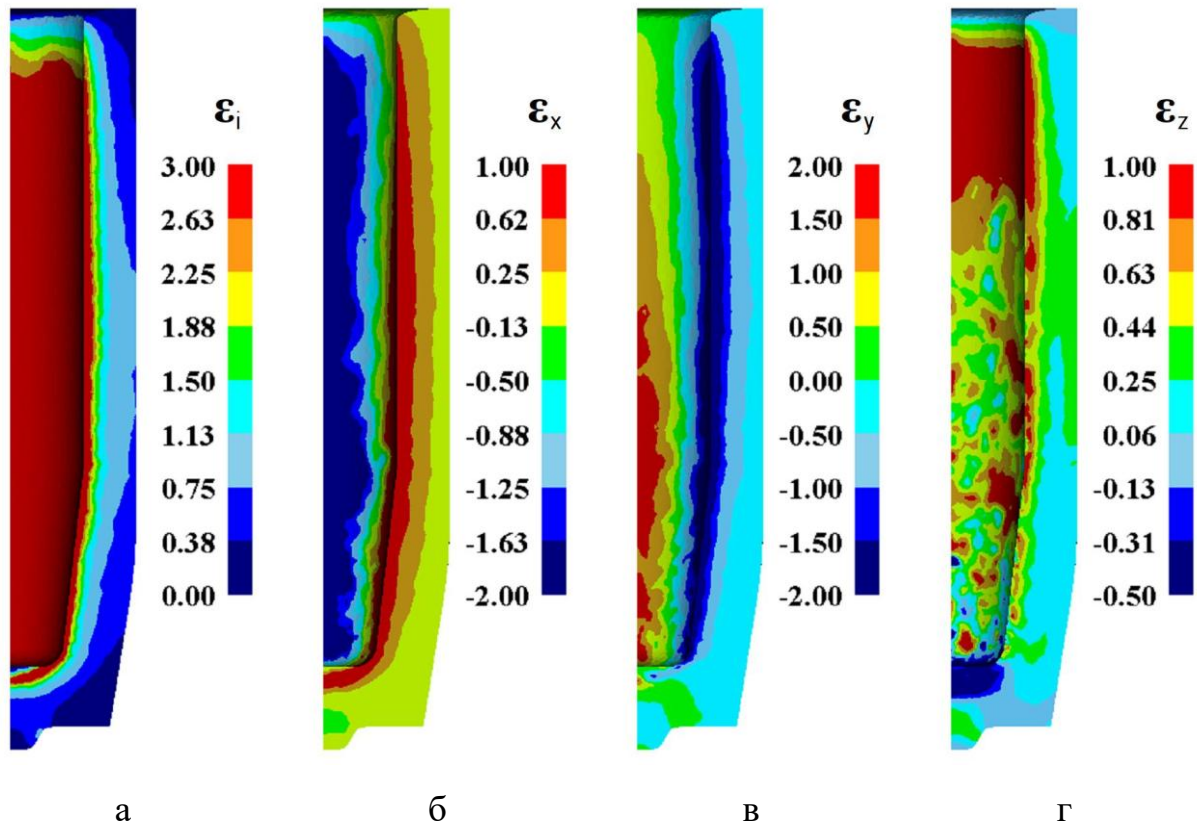


Рис. 3.6. Розподіли інтенсивності та компонент деформацій у четвертій частині виробу в кінці видавлювання заготовки круглого перерізу:

а – інтенсивність деформацій ε_i , б – деформації ε_x , в – деформації ε_y , г – деформації ε_z

Результуюче пропрацювання структури металу пластичною деформацією можна оцінити по величині розподілу інтенсивності деформацій ε_i по ширині і висоті стінок, розподіл якої представлено на рис. 3.6а.. Значення інтенсивності деформацій змінюються від величин $\varepsilon_i=2,63\div3,00$ у шарах металу зі сторони порожнини до $\varepsilon_i=0,38\div0,75$ в шарах металу біля зовнішньої поверхні виробу. Після видавлювання заготовки круглого перерізу у донній частині виробу отримано дві області зі зміною величин деформацій у межах $\varepsilon_i=0,00\div0,38$ та область зі значеннями від $\varepsilon_i=0,38$ до $\varepsilon_i=3,00$.

У стінці виробу та у донній частині отримано розтягувальні деформації ε_x у межах $\varepsilon_x=0,25\div 1,0$ (рис. 3.6б). При цьому такі величини розповсюджуються на дві третіх по ширині стінки для видавлювання заготовки круглого перерізу. У зовнішніх шарах металу стінки отримано $\varepsilon_x=0\div 0,25$.

На рис. 3.6в зображено розподіли деформацій ε_y . Донна частина виробу після видавлювання заготовки круглого перерізу має невелику область з розтягувальними деформаціями у межах $\varepsilon_y=0,00\div 0,50$ та значну область зі стискаючими деформаціями до значення $\varepsilon_y=-0,50$. У стінці отримано стискаючі деформації ε_y , які досягають величини $\varepsilon_y=-2,0$ у внутрішніх шарах стінки та зменшуються до нуля у зовнішніх шарах стінки.

На рис. 3.6г показано розподіли деформацій ε_z . В шарах металу верхньої частини стінки зі сторони порожнини виникають розтягувальні деформації у межах $\varepsilon_z=0,81\div 1,0$ та змінюються до значення $\varepsilon_z=0,06\div 0,25$ у зовнішніх шарах металу стінки після видавлювання заготовки круглого перерізу.

Кінцеву форму та розміри виробу після видавлювання заготовки круглого перерізу показано на рис. 3.7. На торці стінки виробу зі сторони порожнини утворюється утяжина висотою 4,6 мм.

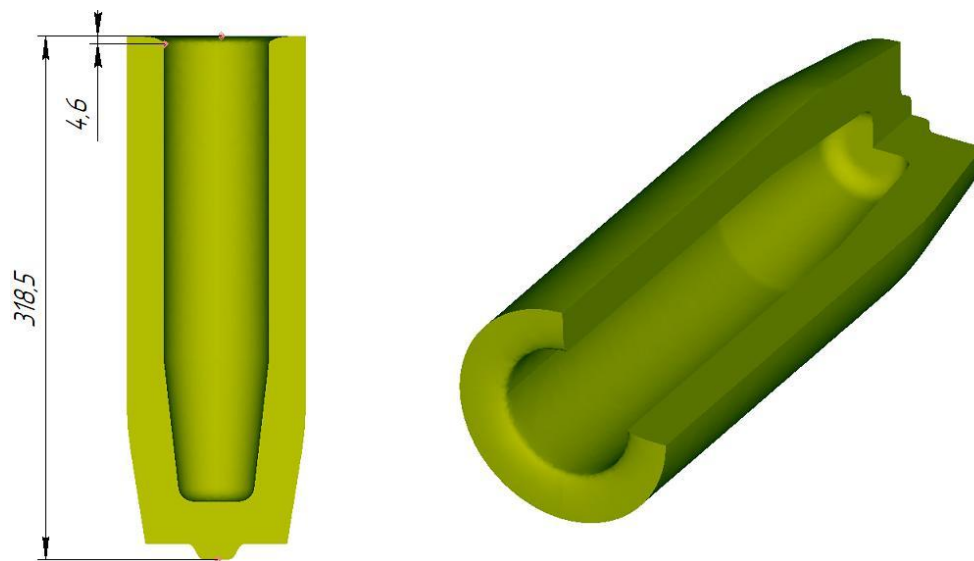


Рис. 3.7. Кінцева форма та розміри половину виробу та загальний вигляд з розрізом після видавлювання заготовки круглого перерізу.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

3.2. Моделювання процесу гарячого штампування отримання порожнистого виробу з квадратної заготовки

Моделювання процесу гарячого штампування проводили методом скінченних елементів у програмному середовищі DEFORM 3D. Поведінка матеріалу описувалася пластичною моделлю деформування. У розрахунках початкову температуру заготовки задавали на рівні 1000 °С, а швидкість переміщення пуансона становила $V_0 = 60$ мм/с, що відповідало умовам гарячого деформування. Температуру деформувального інструменту приймали рівною 20 °С. Для моделювання контактної взаємодії використовували закон тертя Зібеля з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,3$.

На рис. 3.8 наведено послідовність формоутворення під час моделювання процесу видавлювання заготовки квадратного перерізу. На рисунку показано взаємне розташування деформувального інструменту на різних стадіях процесу, зміну геометрії заготовки внаслідок пластичної деформації та кінцеву форму отриманого виробу.

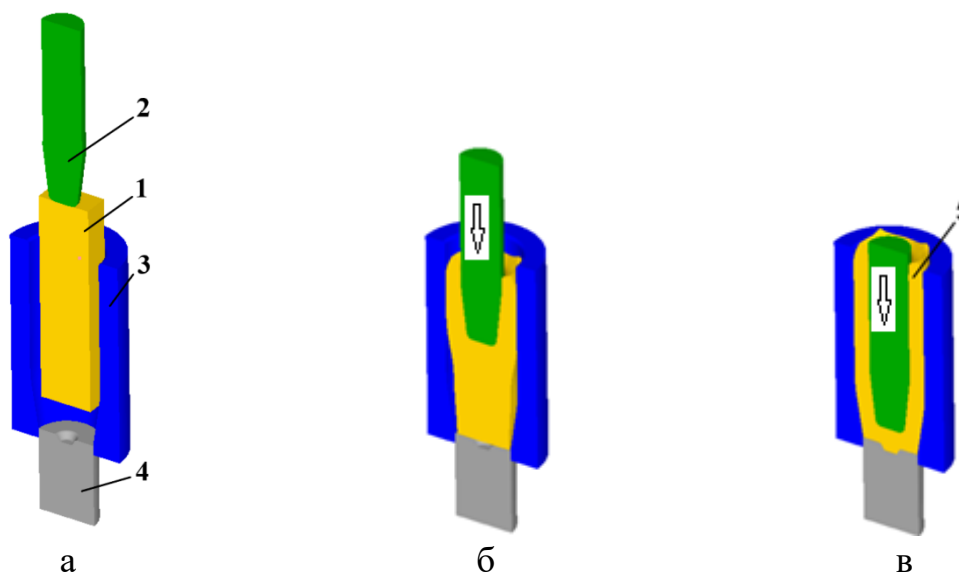


Рис. 3.8. Положення інструменту, зміна форми заготовки та отримання виробу при моделюванні заготовки квадратного перерізу (1 – заготовка, 2 – пуансон, 3 – матриця, 4 – виштовхувач, 5 – виріб)

На рис. 3.8а показано початкову стадію процесу, на якій у поздовжньому перерізі представлені половина квадратної заготовки 1, пуансон 2, матриця 3 та виштовхувач 4. Проміжний етап формоутворення наведено на рис. 3.8б, де відображено процес пластичного деформування заготовки під дією інструменту. Кінцева стадія видавлювання представлена на рис. 3.8в, де показано сформований виріб 5 після завершення процесу. Загальна величина робочого переміщення пуансона 2 становила 250 мм.

Для обґрунтованого вибору пресового обладнання, проєктування штампового оснащення, призначення матеріалів робочих елементів інструменту та визначення необхідної кількості бандажних кілець матриці важливим є встановлення силових параметрів процесу деформування і контактних навантажень на робочих поверхнях інструменту. Оцінювання питомих зусиль здійснювали за розподілами нормальних напружень σ_n на поверхнях контакту заготовки з інструментом, які були отримані в результаті чисельного моделювання в програмному комплексі DEFORM.

На рис. 3.9 наведено залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона для заготовки квадратного перерізу. Аналіз отриманих результатів показав, що в процесі деформування навантаження на пуансон безперервно збільшується зі зростанням його робочого ходу. Найбільше значення зусилля спостерігається на завершальній стадії процесу та становить 615 кН.

На рис. 3.10 представлені розподіли нормальних напружень σ_n на контактних поверхнях інструменту під час видавлювання заготовки квадратного перерізу. Аналіз результатів моделювання показав, що найбільші питомі навантаження виникають у зоні контакту торця пуансона з металом виробу, де значення нормальних напружень знаходяться в межах 670–930 МПа.



Рис. 3.9. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона

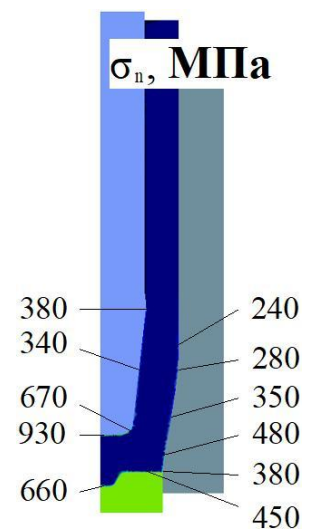


Рис. 3.10. Розподіл нормальних напружень

На поверхні взаємодії виробу з виштовхувачем рівень напружень становить 450–660 МПа, тоді як на конічній робочій поверхні матриці їх величина змінюється в діапазоні 350–480 МПа. Порівняння отриманих значень показало, що навантаження на матрицю залишаються в допустимих межах, що забезпечує її надійну роботу без використання додаткових зміцнювальних елементів.

Таким чином, для розглянутої схеми гарячого видавлювання квадратної заготовки застосування бандажних кілець не є необхідним, що дозволяє спростити конструкцію штампового оснащення та знизити витрати на його виготовлення.

На рис. 3.11 наведено розподіл температури в об'ємі чверті виробу після завершення процесу видавлювання заготовки квадратного перерізу. Результати моделювання свідчать про нерівномірний характер температурного поля, що обумовлено умовами пластичної деформації та теплообміном між

заготовкою й інструментом. У внутрішніх шарах металу верхньої частини стінки температура становить 900–980 °С. На зовнішній поверхні цієї ділянки спостерігається зниження температури до 750–900 °С внаслідок відведення тепла через контакт із навколишнім середовищем та інструментом. У донній частині виробу температура знаходиться в межах 900–1100 °С. Найбільше охолодження металу відбувається в зонах контакту з пуансоном, де температура знижується до 520–670 °С. Порівняння отриманих результатів із даними для круглої заготовки показало меншу інтенсивність охолодження металу при використанні квадратної заготовки. Це пояснюється скороченням тривалості контакту деформованого металу з робочими поверхнями матриці під час процесу видавлювання, що зменшує тепловтрати та сприяє збереженню більш високої температури в об'ємі виробу.

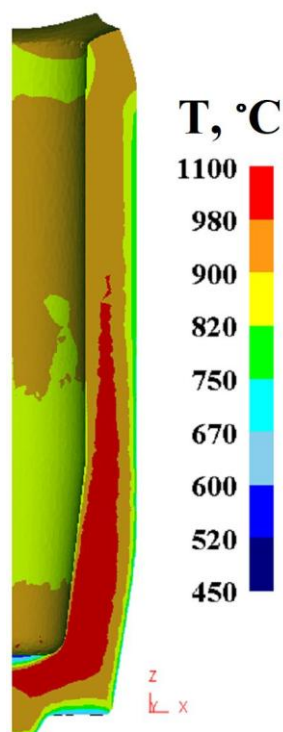


Рис. 3.11. Розподіл температури в об'ємі четвертої частини виробу в кінці видавлювання заготовки квадратного перерізу

Моделюванням встановлено напружено-деформований стан, який отримано в кінці процесу видавлювання. На рис. 3.12 зображено розподіли інтенсивності σ_i та компонент напружень σ_x , σ_y та σ_z у четвертій частині виробу. Вигляди розподілів перерахованих компонент напружень практично не відрізняються для розглянутих перерізів заготовок.

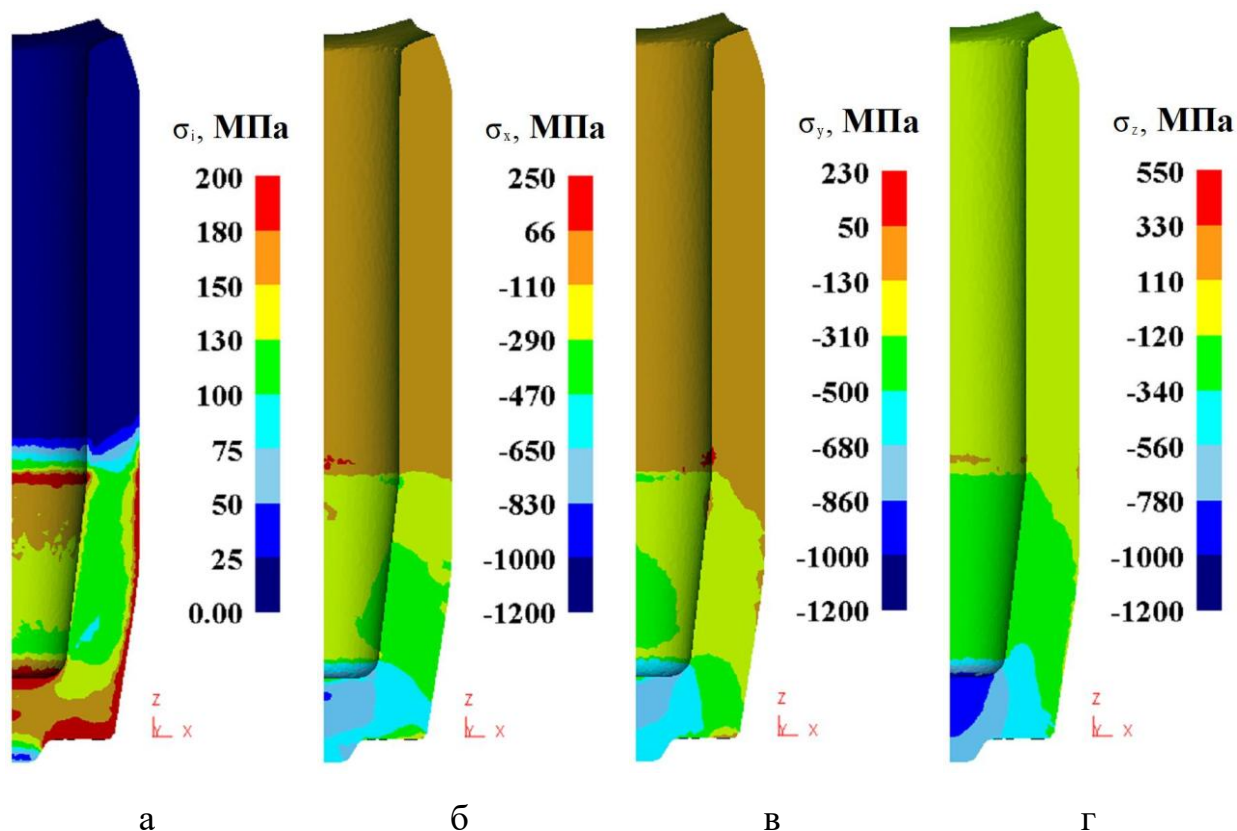


Рис. 3.12. Розподіли інтенсивності та компонент напружень у четвертій частині виробу в кінці видавлювання заготовки квадратного перерізу:

а – інтенсивність напружень σ_i , б – напруження σ_x , в – напруження σ_y , г – напруження σ_z

Інтенсивність напружень (рис. 3.12а) знаходиться в межах $\sigma_i = 0 \div 200$ МПа. У верхній частині стінки виробу виникають розтягувальні напруження у межах $\sigma_z = 0 \div 110$ МПа. У стінці біля донної частини виробу ці напруження стають стискаючими $\sigma_z = -340 \div -120$ МПа, а у донній частині вони

досягають значень у межах $\sigma_z = -1000 \div -560$ МПа. Дещо зменшуються розтягувальні напруження σ_y та σ_x у верхній частині стінки і знижуються по абсолютній величині стискаючі напруження σ_y та σ_x у нижній частині стінки та донній частині виробу.

Розподіли кінцевих деформацій ε_x , ε_y , ε_z , та інтенсивності деформацій ε_i у четвертій частині виробу представлено на рис. 3.13.

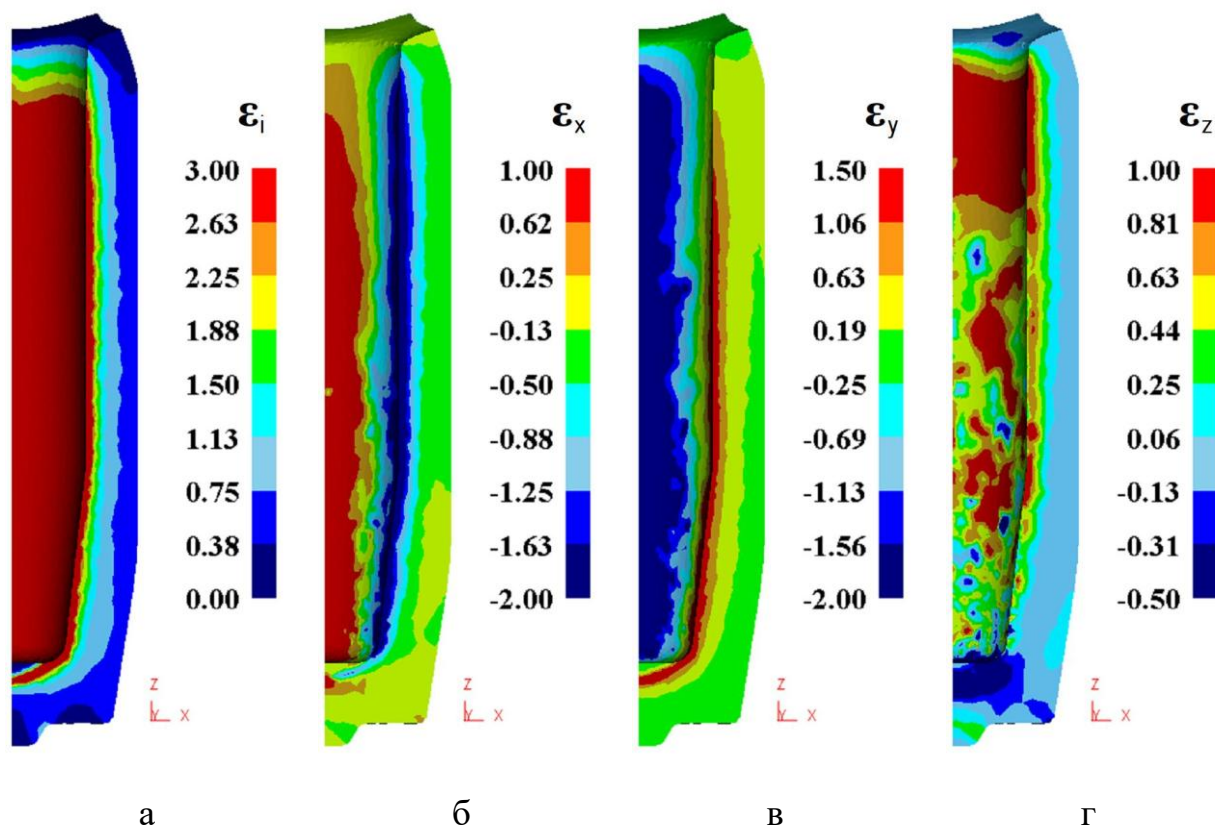


Рис. 3.13. Розподіли інтенсивності та компонент деформацій у четвертій частині виробу в кінці видавлювання заготовки квадратного перерізу:
а – інтенсивність деформацій ε_i , б – деформації ε_x , в – деформації ε_y , г – деформації ε_z

Результуюче пропрацювання структури металу пластичною деформацією можна оцінити по величині розподілу інтенсивності деформацій ε_i по ширині і висоті стінок, розподіл якої представлено на рис. 3.13а. Значення інтенсивності деформацій змінюються від величин $\varepsilon_i = 2,63 \div 3,00$ у шарах

металу зі сторони порожнини до $\varepsilon_i=0,38\div0,75$ в шарах металу біля зовнішньої поверхні виробу. Після видавлювання заготовки квадратного перерізу у донній частині виробу отримано дві області зі зміною величин деформацій у межах $\varepsilon_i=0,00\div0,75$ та область зі значеннями від $\varepsilon_i=0,75$ до $\varepsilon_i=3,00$.

На рис. 3.13б зображено розподіли деформацій ε_x . Донна частина виробу після видавлювання заготовки квадратного перерізу має невелику область з розтягувальними деформаціями у межах $\varepsilon_x=0,25\div1,0$ та значну область зі стискаючими деформаціями до значення $\varepsilon_x=-0,50$. У стінці отримано стискаючі деформації ε_y , які досягають величини $\varepsilon_x=-2,0$ у внутрішніх шарах стінки та зменшуються до нуля у зовнішніх шарах стінки.

У стінці виробу та у донній частині отримано розтягувальні деформації ε_y у межах $\varepsilon_y=0,19\div1,5$ (рис. 3.13в). При цьому такі величини розповсюджуються на три четвертих по ширині стінки для видавлювання заготовки квадратного перерізу. У зовнішніх шарах металу стінки отримано $\varepsilon_y=0\div0,19$.

На рис. 3.13г показано розподіли деформацій ε_z . В шарах металу верхньої частини стінки зі сторони порожнини виникають розтягувальні деформації у межах $\varepsilon_z=0,81\div1,0$ та змінюються до значення $\varepsilon_z=0,06\div0,25$ у зовнішніх шарах металу стінки після видавлювання заготовки квадратного перерізу.

Кінцеву форму та розміри виробу після видавлювання заготовки квадратного перерізу показано на рис. 3.14. На торці стінки виробу зі сторони порожнини утворюється утяжина висотою 15,1 мм та має місце викривлення стінки зі сторони зовнішньої поверхні.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

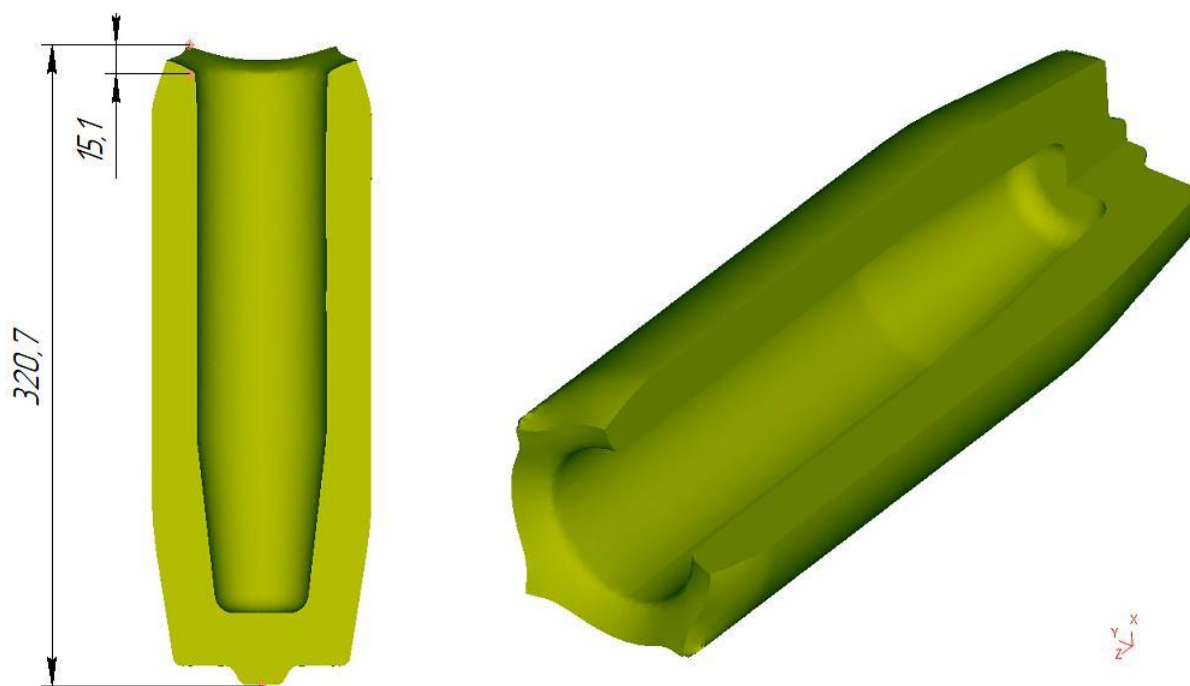


Рис. 3.14. Кінцева форма та розміри половину виробу та загальний вигляд з розрізом після видавлювання заготовки квадратного перерізу.

Висновки по розділу

У розділі проведено чисельне моделювання процесу гарячого штампування порожнистого виробу із заготовок круглого та квадратного перерізу методом скінченних елементів у програмному комплексі DEFORM 3D.

За результатами моделювання встановлено закономірності формоутворення виробу, визначено кінцеві геометричні параметри поковок, а також досліджено напружено-деформований і температурний стан металу в процесі деформування.

Аналіз силових параметрів показав, що максимальне зусилля видавлювання при використанні круглої заготовки становить 766 кН. Визначені розподіли нормальних контактних напружень дозволили оцінити навантаження на пуансон, матрицю та виштовхувач і встановити, що для

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розглянутих схем штампування застосування бандажів матриці не є необхідним.

Дослідження температурного стану металу показало, що в процесі гарячого штампування відбувається нерівномірний розподіл температури по об'єму виробу. Найбільше охолодження спостерігається у приповерхневих шарах металу, які контактують з деформуючим інструментом. При використанні квадратної заготовки інтенсивність охолодження є меншою порівняно з круглою заготовкою, що пояснюється меншим часом контакту металу з матрицею.

Порівняння результатів моделювання показало, що квадратна заготовка забезпечує більш інтенсивне пропрацювання структури металу пластичною деформацією в донній частині та стінках виробу. Це створює передумови для покращення механічних властивостей готової деталі після термічної обробки.

На підставі отриманих результатів встановлено, що використання квадратної заготовки є доцільним для виготовлення досліджуваного порожнистого виробу, оскільки забезпечує необхідні геометричні параметри виробу та більш сприятливий розподіл деформацій у порівнянні з циліндричною заготовкою.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ З КВАДРАТНОЇ ЗАГОТОВКИ ТА ВИБІР ПРЕСОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Для реалізації процесу гарячого видавлювання розроблено конструкцію штампового оснащення (рис. 4.1), призначеного для виготовлення порожнистого виробу заданої конфігурації (рис. 2.1) із квадратної заготовки та подальшого видалення виробу з матриці за допомогою виштовхувального механізму преса.

Основою конструкції є нижня плита 1, у якій встановлено ступінчасту втулку 15 зі штовхачем 16. На нижній плиті з базуванням по центру розташована обойма 12, закріплена шістьма гвинтами 20. Усередині обойми знаходяться опорна плита 14, матриця 3 та виштовхувач 13. Матриця обладнана кожухом 11, до якого приєднано два штуцери 17 для циркуляції охолоджувальної рідини. Один із них забезпечує подачу рідини в охолоджувальну порожнину між матрицею та кожухом, а другий призначений для її відведення. Фіксація матриці на обоймі здійснюється за допомогою кільця 10, шести шпильок 22, шайб 21 та гайок 19.

У верхній частині штампа на плиті 2 встановлено пуансонотримач 5, закріплений шістьма гвинтами 20. У ньому розміщені п'ята 6 та підп'ятник 7, які компенсують можливі перекоси, що виникають під час монтажу матриці на нижній плиті. Пуансон 4 встановлено в пуансонотримачі та закріплено відносно п'яти 6 за допомогою кільця 8 і гайки 9.

Робота штампа відбувається таким чином. Перед початком процесу відстань між нижнім торцем пуансона та верхньою площиною матриці повинна становити не менше 250 мм, що забезпечує можливість безперешкодного вилучення готового виробу. Нагріту та змащену заготовку, торці якої є паралельними між собою та перпендикулярними до осі симетрії,

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

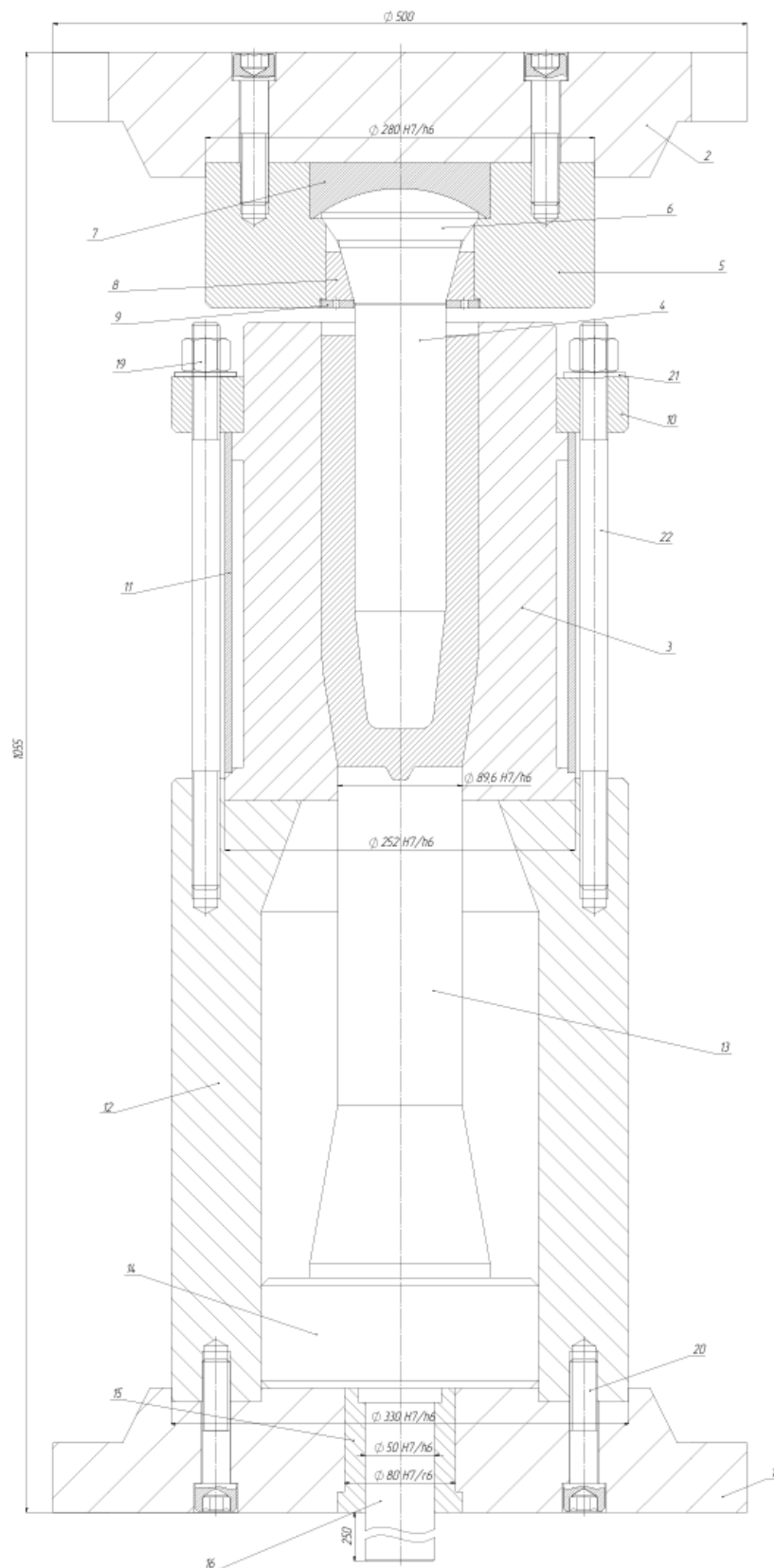


Рис. 4.1. Ескіз загального вигляду штампу для реалізації видавлювання.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

встановлюють у порожнину матриці. Під час переміщення пуансона вниз відбувається процес формоутворення виробу.

Після завершення видавлювання деталь видаляється з матриці за допомогою штовхача 16, на який передається зусилля від виштовхувача преса. Переміщення штовхача забезпечує одночасний рух опорної плити 14 та виштовхувача 13 у напрямку вгору, що сприяє виведенню виробу з робочої порожнини матриці. Для нормальної роботи штампа хід виштовхувача преса повинен становити не менше 200 мм.

Враховуючи габаритні розміри та конструктивні особливості розробленого оснащення, для реалізації процесу гарячого видавлювання необхідно використовувати пресове обладнання з відкритою висотою понад 1500 мм.

Із врахуванням цього для встановлення штампу було прийнято гідравлічний прес моделі ПЗ438Б зусиллям $P = 6300$ кН та номінальною відкритою висотою пресу при найвищому положенні повзуна $H_0 = 1800$ мм. Інші характеристики пресу:

- максимальний хід $h_{max} = 1000$ мм;
- хід нижнього виштовхувача $h_{н.в.} = 450$ мм;
- швидкість робочого ходу $v_x = 35 - 120$ мм/с;
- габаритні розміри столу пресу та підштампової плити $A_{ст} = A_{плт} = 2500$ мм та $B_{ст} = B_{плт} = 2500$ мм;
- товщина підштампової плити $H_{плт} = 240$ мм.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.

1. Ці Правила поширюються на всіх суб'єктів господарювання незалежновід форм власності та організаційно-правової форми, які здійснюють діяльність, пов'язану з ковальсько-пресовими роботами.

2. Ці Правила встановлюють вимоги охорони праці під час ковальсько-пресових робіт.

3. Ці Правила є обов'язковими для роботодавців та працівників, які виконують роботи з поділу вихідних матеріалів, листового штампування, холодного об'ємного штампування і висадження, гарячого кування і штампування.

Загальні вимоги

1. Роботодавець повинен створити службу охорони праці відповідно до вимог Типового положення про службу охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 15 листопада 2004 року № 255, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 01 грудня 2004 року за № 1526/10125 (НПАОП 0.00-4.21-04).

2. Роботодавець повинен за власні кошти організувати проведення медичних оглядів працівників певних категорій, а саме попередній медичний огляд (під час прийняття на роботу) та періодичні медичні огляди (протягом трудової діяльності), відповідно до вимог Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007 року № 246, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 23 липня 2007 року за № 846/14113.

3. Роботодавець повинен організувати проведення навчання та перевірку знань з питань охорони праці посадових осіб та інших працівників відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року No 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 року за No 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05).

4. Працівники, які виконують поряд з основними обов'язками підйимально-транспортні роботи, повинні дотримуватися вимог Типової інструкції з безпечного ведення робіт для стропальників (зачіплювальників), які обслуговують вантажопідйимальні крани, затвердженої наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 25 вересня 1995 року No 135, зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 10 жовтня 1995 року за No 372/908(НПАОП 0.00-5.04-95).

5. Забороняється залучення жінок до робіт, визначених у Переліку важких робіт та робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці жінок, затвердженому наказом Міністерства охорони здоров'я України від 29 грудня 1993 року No 256, зареєстрованому в Міністерстві юстиції України 30 березня 1994 року за No 51/260. Підіймання та переміщення важких речей жінками необхідно здійснювати з дотриманням вимог Граничних норм підіймання і переміщення важких речей жінками, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 10 грудня 1993 року No 241, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 22 грудня 1993 року за No 194.

6. Забороняється залучення неповнолітніх до робіт, визначених у Переліку важких робіт і робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх, затвердженому наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31 березня 1994 року No 46, зареєстрованому в Міністерстві юстиції України 28 липня 1994 року No 176/385. Підіймання та переміщення важких речей неповнолітніми необхідно здійснювати з дотриманням вимог Граничних норм підіймання і переміщення важких речей неповнолітніми, затверджених наказом Міністерства охорони

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здоров'я України від 22 березня 1996 року No 59, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 16 квітня 1996 року за No 183/1208.

7. Роботодавець повинен організувати опрацювання і затвердити нормативні акти, що діють на підприємстві відповідно до вимог Порядку опрацювання і затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві, затвердженого наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 21 грудня 1993 року No 132, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 07 лютого 1994 року за No 20/229 (НПАОП 0.00-6.03-93).

8. Роботодавець повинен організувати проведення атестації робочих місць за умовами праці відповідно до вимог Порядку проведення атестації робочих місць за умовами праці, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 01 серпня 1992 року No 442.

9. Роботодавець повинен забезпечити безпечну експлуатацію електроустаткування відповідно до вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок, затверджених наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 06 жовтня 1997 року No 257, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 13 січня 1998 року за No 11/2451 (НПАОП 40.1-1.01-97), Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 09 січня 1998 року No 4, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 10 лютого 1998 року за No 93/2533 (НПАОП 40.1-1.21-98), ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».

10. Системи вентиляції приміщень повинні відповідати вимогам чинного законодавства.

11. Роботодавець повинен організувати проведення розслідування і ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

відповідно до вимог Порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2011 року № 1232.

12. Роботодавець повинен організувати забезпечення працівників питною водою, якість якої повинна відповідати вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10), затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 12 травня 2010 року № 400, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 01 липня 2010 року за № 452/17747.

13. Роботодавець повинен безкоштовно забезпечувати працівників гарячих цехів і виробничих ділянок газованою солоною водою відповідно до вимог Санітарних правил для ковальсько-пресових цехів, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 09 липня 1997 року № 200.

Вимоги безпеки під час виконання технологічних процесів

Загальні вимоги безпеки

1. Роботодавець повинен забезпечити організацію і безпечне виконання ковальсько-пресових робіт відповідно до вимог ГОСТ 12.3.002-75 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности».

2. Виробниче устаткування повинно відповідати вимогам Технічного регламенту безпеки машин, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30 січня 2013 року № 62, ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.017-93 «ССБТ. Оборудование кузнечно-прессовое. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.064-81 «ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности», ДСТУ ГОСТ 12.2.113:2007 «Преси кривошипні. Вимоги щодо безпеки», ГОСТ 12.2.114-86 «ССБТ.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прессывинтовые. Требования безопасности», ДСТУ ГОСТ 12.2.116:2007 «Машины листозгинальні три- та чотиривалкові. Вимоги щодо безпеки», ГОСТ 12.2.117-88«ССБТ. Прессы гидравлические. Требования безопасности», ДСТУ ГОСТ12.2.118:2007 «Ножиці. Вимоги щодо безпеки».

3. Посудини, що працюють під тиском і використовуються в устаткуванні, повинні відповідати вимогам Технічного регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 січня 2011 року № 35, ДСТУ ГОСТ 12.2.085:2007 «Посудини, що працюють під тиском. Клапани запобіжні. Вимоги щодо безпеки» (далі – ДСТУ ГОСТ12.2.085:2007).

4. Експлуатацію печей на газовому паливі необхідно здійснювати відповідно до вимог Правил безпеки систем газопостачання України, затверджених наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 01 жовтня 1997 року № 254, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 15 травня 1998 року за № 318/2758 (НПАОП 0.00-1.20-98).

5. Працівники під час виконання робіт повинні дотримуватися вимог Інструкції з охорони праці під час виконання монтажних робіт інструментами і пристроями, затвердженої наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 05 червня 2001 року № 254, зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 20 липня 2001 року за № 616/5807 (НПАОП 0.00-5.24-01).

6. Небезпечні виконавчі механізми устаткування повинні мати огороження відповідно до вимог ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные».

7. Вантажопідіймальні механізми повинні відповідати вимогам Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 року № 132, зареєстрованих у

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Міністерстві юстиції України 09 липня 2007 року за № 784/14051 (НПАОП 0.00-1.03-07).

8. Завантаження, розвантаження, транспортування вихідних матеріалів, готової продукції повинно здійснюватися відповідно до вимог ГОСТ 12.3.020-80 «ССБТ. Процессы перемещения грузов на предприятиях. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.022-80 «ССБТ. Конвейеры. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.3.009-76 «ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.3.010-82 «ССБТ. Тара производственная. Требования безопасности при эксплуатации».

9. Температура нагрітих елементів устаткування повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 563-2001 «Безпечність машин. Температури поверхонь, доступних для дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь».

10. Нанесення змащувальних матеріалів, визначених технічною документацією на устаткування, на заготовки і штампи необхідно виконувати розпилювальними пристроями або щіткою після зупинення рухомих частин устаткування.

Під час роботи устаткування в автоматичному режимі необхідно використовувати спеціальні пристрої пістолетного типу для розпилення змащувальних матеріалів.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розроблено технологію гарячого штампування порожнистого виробу із квадратної заготовки зі сталі С45 EN10083 та виконано порівняльний аналіз процесів формоутворення при використанні круглої і квадратної вихідних заготовок.

На основі аналізу літературних джерел встановлено, що процеси гарячого зворотного видавлювання є ефективним способом виготовлення порожнистих виробів складної форми. Показано перспективність застосування квадратних заготовок, які забезпечують більш інтенсивне пропрацювання структури металу пластичною деформацією порівняно з круглими заготовками.

Розроблено технологічний процес виготовлення порожнистого виробу та визначено раціональні розміри вихідних круглої та квадратної заготовок з урахуванням технологічних втрат металу під час подальших операцій обробки. Методом скінченних елементів у програмному комплексі DEFORM 3D проведено моделювання процесу гарячого штампування. Визначено силові параметри процесу, розподіли температур, напружень і деформацій у виробі, а також досліджено контактні навантаження на робочі поверхні інструменту.

Встановлено, що використання квадратної заготовки дозволяє забезпечити більш інтенсивне деформаційне пропрацювання металу в донній частині та стінках виробу, що є важливим для формування необхідних механічних властивостей готової деталі.

На основі результатів моделювання розроблено конструкцію штампового оснащення для гарячого видавлювання порожнистого виробу та визначено вимоги до пресового обладнання для реалізації технологічного процесу.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані результати підтвердили можливість виготовлення заданого порожнистого виробу методом гарячого штампування із квадратної заготовки з забезпеченням необхідних геометричних параметрів, раціональним використанням матеріалу та високим рівнем пропрацювання структури металу пластичною деформацією.

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а розроблена технологія може бути рекомендована для практичного використання при виготовленні порожнистих виробів аналогічної конструкції.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aliev I.S. Radial extrusion processes. Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo). 1988. Part 3. pp. 54–61. ISSN: 0891-334x.
2. Алиева Л.И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монография. Крама-торск: ООО «Тираж -51». 2018. 352с. ISBN978-966-379-846-2.
3. Bhaduri A. Extrusion. In: Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys. Springer Series in Materials Science. 2018. 264, pp. 599-646. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7209-3_13.
4. Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделювання та розробка процесів точного штампування видавлюванням: монографія. Краматорськ: ДДМА. 2021. 210с. ISBN978-617-7889-08-2.
5. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х. т. Москва: Машиностроение. 1986. Т.2. Горячая объемная штамповка. Под ред. Е.И. Семенова. 1986. 592 с.
6. V.N. Danchenko, A.A, Mylenyn and V.Y. Kuzmenko, Komp'yuternoe modelirovanie protsessov obrabotki metallov davleniem. Chislennye metody, Dnepropetrovsk: Sistemnye tekhnologii, 2008.
7. S.A. Snytko and V.L. Kaliuzhnyi, “Konechno-elementnoe modelirovanie mnogoperekhodnogo formoizmeneniya pri proizvod-stve zheleznodorozhnykh koles”, Vestnik NTUU “KPI”. Mashinostroenie, No. 11, pp. 106–112, 2011. DOI: 10.1007/s13191-011-0075-8.
8. Y.S. Alyev, O.E. Markov and Ya.H. Zhbankov, “Vliyanie operatsii vyvorota pokovki konicheskimi plitami na raspredeleniye deformatsii”, Obrabotka materialov davleniem, Kramatorsk: DGMA, 3(24), pp. 64–69, 2010.
9. Y.S. Alyev, Ya.H. Zhbankov and L.V. Tahan, “Upravlenie napryazhenno-deformirovannym sostoyaniem zagotovki v protsessakh kovki

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

krupnykh pokovok”, Obrabotka materialov davleniem. Kramatorsk: DHMA, 1(34), pp. 50–59, 2013.

10. O.E. Marrkov, A.O. Sharun and M.S. Kosylov, “Sovremennye sposoby polucheniya tonkostennykh dnishch otvetstvennogonaznacheniya”, Obrabotka materialov davleniem, Kramatorsk: DHMA, 1(44), pp. 115–123, 2017.

11. V.L. Kaliuzhnyi and O.S. Yarmolenko, “Zusyllia deformuvannia, napruzhenno-deformovanyi stan i temperaturnyi rozpodil uzdeformovanii zahotovtsi pry hariachomu zvorotnomu vydavliuvanni porozhnystykh vyrobiv iz latuni”, Visnyk NTU «KhPI».Innovatsiini tekhnolohii ta obladnannia obrobky materialiv u mashynobuduvannia ta metalurhii, 23(1299), pp. 28–33, 2018.

12. Калюжний В.Л., Алієва Л.І., Ярмоленко А.С., Ситник С.В., Гаряче видавлювання із високовуглецевої сталі конусних порожнистих виробів. Вісник КПІ ім. Ігоря Сікорського. Mechanics and Advanced Technologies. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. Vol 6, №3. Pp. 112...118, ISSN 2521-1943, DOI: 10.20535/2521-1943.2022.6.3.269897

13. Калюжний В.Л., Левченко В.М., Ярмоленко О.С., Таган Л.В.Вплив швидкості деформування на гаряче зворотне видавлювання вісесиметричного порожнистого виробу. Обробка матеріалів тиском. Збірник наукових праць, № 1(51)-2022, Краматорськ, ДГМА, с. 46...55, ISSN 2076-2151, DOI: 10.37142/2076 2151/2022-1(51)46

14. Калюжний В. Л., Ситник С. В., Левченко В. Порівняльний аналіз гарячого зворотного видавлювання порожнистих виробів із заготовок круглої і квадратної форми. Механіка і новітні технології. 2023. Vol. 7, № 2. С. 236 242, DOI: 10.20535/2521-1943.2023.7.2.288484

15. Калюжний В.Л., Калюжний О. В., Ситник С. В., Шульга К. М., Готра М. В. Збільшення пропрацювання пластичною деформацією стінок і донної частини порожнистого напівфабрикату при гарячому зворотному

видавлюванні. Наукові Нотатки. 2023. № 76. С. 72-79, DOI 10.36910/775.24153966.2023.76.10

16. Драгобецький В. В., Калюжний О. В., Калюжний В. Л., Ситник С. В. Вплив швидкості деформування на процес гарячого видавлювання з роздачою круглих порожнистих напівфабрикатів. Механіка і новітні технології. 2024. Vol. 8, № 1. С. 45-53, DOI: 10.20535/2521-1943.2024.8.1(100).297296

17. 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.

18. 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.

19. 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)

20. 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.

21. 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

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Qinhuangdao Branch, Northeastern University, Qinhuangdao 066004, China, p. 92 – 97.

22. Maria Kapustova. The Design of Drawing Process of Cylindrical Cup with Oval Bottom Using Computer Simulation / Maria Kapustova and Robert Sobota // Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Institute of Production Technologies, J. Bottu 25, 91724 Trnava, Slovakia, p. 1-4.

23. Мезенцева О.М., Гуренко Д.А. Моделирование процесса обратного выдавливания деталей из сплава брб2 по схеме подвижного контейнера с применением DEFORM-2D. Сборник тезисов конференции Всероссийской научной конференции. Студенческая весна. Машиностроительные технологии. МГТУ им.Н.Э. Баумана 2008.

24. Геворк Славикович Софоян, Борис Степанович Мороз. Анализ технологических параметров горячего обратного выдавливания с помощью программного комплекса QFORM 2D. Вестник Донского государственного технического университета, 2012.

25. Н.Д. Тутышкин, д-р техн. наук, проф., Ву Хай Ха, асп., Исследование силы деформирования процесса обратного выдавливания деталей по схеме подвижного контейнера с использованием программы DEFORM-3D, ИзвестияТулГУ. Технические науки, 2012. Вып.

26. Калюжний В.Л., Левченко В.М., Ярмоленко О.С., Таган Л.В. Вплив швидкості деформування на гаряче зворотне видавлювання вісесиметричного порожнистого виробу. Обробка матеріалів тиском. Збірник наукових праць, № 1(51)-2022, Краматорськ, ДГМА, с. 46...55, ISSN 2076-2151, DOI: 10.37142/2076-2151/2022-1(51)46.

27. Калюжний В.Л., Алієва Л.І., Ярмоленко А.С., Ситник С.В., Гаряче видавлювання із високовуглецевої сталі конусних порожнистих виробів. Вісник КПІ ім. Ігоря Сікорського. Mechanics and Advanced Technologies. –

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. Vol 6, №3. Рр. 112...118, ISSN 2521-1943, DOI: 10.20535/2521-1943.2022.6.3.269897.

28. Пат. 2009119376 Росія, МПК В21К 21/02 (2006.01). Спосіб об'ємного гарячого штампування деталей типу чаша чи стакан / С. Т. Басюк, И. В. Гринберг, Т. В. Мягких, С. Б. Лёвочкин, В. Т. Малышев ; патентовласник ОАО “МКБ “Факел” имени академика П. Д. Грушина”, ЗАО “Диск БС”. – заявл. 25.05.2009; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 16.

29. Пат. 2004114912 Росія, МПК В21К 22/02 (2000.01). Спосіб гарячого штампування порожнистих виробів / П. А. Петров, В. И. Перфилов; патентовласник Федеральное государственное унитарное предприятие Московское машиностроительное производственное предприятие “САЛЮТ”. - ; заявл. 18.05.2004 ; опубл. 20.10.2005, Бюл. № 29.

30. Пат. 2001108032 Росія, МПК В21К 1/00 (2000.01). Спосіб гарячого штампування порожнистих виробів / В. Г. Смирнов, Г. В. Смирнов; патентовласник ОАО Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение. - ; заявл. 26.03.2001 ; опубл. 27.10.2002, Бюл. № 30.

31. Пат. 2013104867 Росія, МПК В21К 21/00 (2006.01). Спосіб виготовлення деталей типу «Кришка», «Дно» / А. С. Митин, А. А. Митин; патентовласник Открытое акционерное общество “Завод им. В. А.Дегтярева”. – заявл. 05.02.2013 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

32. Калюжный В.Л. Горячая штамповка полых изделий из высокопрочного алюминиевого сплава с заданной проработкой структуры металла пластической деформацией / В.Л. Калюжный, В.Н. Горноста́й, А.А. Гулюк и др. // Обработка материалов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2017. - №1 (44). - С. 137-143.

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ДОДАТОК. СПЕКИФІКАЦІЇ

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

ДПАТ2108.200.000

					ДП.АТ2108.06.100.000ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		