

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

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Дипломний проект**

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Розробка технології виготовлення деталі «Кришка» використанням інструменту отриманого адитивним виробництвом»

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи АТ-01  
(шифр групи)

Немчинов Сергій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник асист., Сохан Дмитро Володимирович

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

(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 – 2024 року

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту**

**на тему: «Розробка технології виготовлення деталі «Кришка» використанням  
інструменту отриманого адитивним виробництвом»**

---

---

---

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут

---

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

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проект студенту**  
**Немчинов Сергій Сергійович**

---

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: «Розробка технології виготовлення деталі «Кришка»  
використанням інструменту отриманого адитивним виробництвом»

---

керівник проекту \_\_\_\_\_ асист., Сохан Дмитро Володимирович

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

затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.  
№ \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проекту: \_\_\_\_\_ 13.06.2024

3. Вихідні дані до проекту: креслення деталі «Кришка»

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Формалізація постановки задачі. Актуальність роботи. Сфери використання адитивних технологій. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі. Вибір методу виготовлення заготовки. Конструювання штампу для листової формовки. Конструювання штампу для пробивання отворів. Конструювання штампу для відбортовки отворів. Моделювання процесів витяжки і гнуття у програмному середовищі DEFORM-3D. Налаштування принтера для друку моделей. Висновки. Охорона праці. Література.

---

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Штамп сумісної дії для формовки, складальне креслення А3, Матриця А3, Пуансон А3. Штамп простої дії для

пробивання, складальне креслення А1, Матриця А2, Пуансон А4, Пуансонотримач А3, Трафарет А3. Штамп простої дії для відбортовки, складальне креслення А3, Матриця А3, Пуансон А3.

6. Консультанти розділів проекту\*

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

7. Дата видачі завдання 05.03.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Розробка технологічного розділу	07.03.2024 – 02.05.2024	
2	Проектування штампу простої дії для пробивання, деталювання	03.05.2024 – 10.05.2024	
3	Проектування штампу сумісної дії для гнуття і витяжки, деталювання	11.05.2024 – 15.05.2024	
4	Проектування штампу простої дії для відбортовки, деталювання	16.05.2024 – 20.05.2024	
5	Оформлення пояснювальної записки	21.05.2024 – 09.06.2024	

Студент

Сергій НЕМЧИНОВ

Керівник

Дмитро СОХАН

\*Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

## АНОТАЦІЯ

Немчинов С.С. Дипломний проект на тему: «Розробка технології виготовлення деталі «кришка» використанням інструменту отриманого адитивним виробництвом». КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2024.

Проект містить 70 с. тексту, 34 рисунка, 2 графіка 11 посилань на літературні джерела.

Ключові слова: адитивне виробництво, FDM, 3D-друк, штампування, пробивання отворів, відбортовка, формування деталей, конструювання штампів, DEFORM-3D, екструзія, холодне штампування, матеріали адитивного виробництва.

У дипломній роботі досліджується можливість застосування адитивних технологій для виготовлення обладнання для штампування. Проект охоплює розробку і оптимізацію технологічного процесу штампування, що включає основні етапи: відрізання заготовки, формування, пробивання та відбортовування отворів.

В роботі є розділи присвячені моделюванню процесів деформування у програмному середовищі DEFORM-3D. Використання адитивних технологій, зокрема 3D-друку, дозволяє розширити можливості виготовлення інструментів, підвищити гнучкість виробничих процесів та скоротити час виконання замовлень.

В результаті дослідження встановлено, що поєднання холодного штампування з адитивними технологіями та програмним моделюванням є перспективним напрямком розвитку сучасної металообробної промисловості, що дозволяє досягти високих результатів при мінімальних витратах.

Отримані результати можуть використовуватись на практиці при виготовленні деталей.

## ANNOTATION

Niemchynov S.S. Theme: "Development of technology for the manufacture of the part "cover" using a tool obtained by additive manufacturing". Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2024.

The project contains 70 pages of text, 34 figures, 2 graphs, 11 references.

Keywords: additive manufacturing, FDM, 3D printing, punching, hole punching, flanging, part moulding, die design, DEFORM-3D, extrusion, cold forming, additive manufacturing materials.

The thesis investigates the possibility of using additive technologies to manufacture stamping equipment. The project covers the development and optimisation of the stamping process, which includes the main stages: cutting the workpiece, forming, punching and flanging holes.

The work contains sections on modelling deformation processes in the DEFORM-3D software environment. The use of additive technologies, in particular 3D printing, allows to expand the possibilities of tool manufacturing, increase the flexibility of production processes and reduce the lead time.

The study found that the combination of cold stamping with additive technologies and software modelling is a promising direction for the development of the modern metalworking industry, which allows achieving high results at minimal cost.

The results obtained can be used in practice in the manufacture of parts.

## Зміст

1.	ВСТУП .....	3
2.	ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧІ.....	5
3.	АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.....	5
4.	СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ .....	6
5.	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	8
5.1.	Аналіз технологічності виготовлення деталі «Кришка» .....	8
5.1.1.	Аналіз загальних технологічних вимог до проектування штампованих деталей з листового металу .....	9
5.1.2.	Аналіз технологічності проведення операції пробивання.....	11
5.1.3.	Аналіз технологічності проведення витяжки і V подібного гнуття .....	12
5.2.	Розрахунок розмірів заготовки .....	14
5.2.1.	Розрахунок ширини заготовки .....	14
5.2.2.	Розрахунок довжини заготовки .....	15
5.3.	Розрахунок діаметрів отворів для відбортовки .....	16
6.	ВИБІР МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ .....	18
6.1.	Вибір розкрою матеріалу .....	18
6.2.	Розрахунок коефіцієнту використання матеріалу .....	20
6.3.	Розрахунок зусиль технологічних операцій.....	21
6.3.1.	Зусилля різання листа на смуги.....	21
7.	КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПУ ДЛЯ ЛИСТОВОЇ ФОРМОВКИ .....	23
7.1.	Розрахунок зусиль гнуття і витяжки заготовки .....	23
7.2.	Конструкторський розділ .....	24
7.2.1.	Конструкція штампу .....	27
7.2.2.	Робота штампу.....	27
7.2.3.	Вибір обладнання.....	27

					<b>ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Немчинов С.С.			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Сохан Д.В.				1	63
Н.контр.					<b>Пояснювальна записка</b> НН ММІ, к. ТВЛА КПП ім. Ігоря Сікорського		
Т. контр.							
Затвердив							

8.	КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПУ ДЛЯ ПРОБИВАННЯ ОТВОРІВ .....	28
8.1.	Розрахунок зусилля операції пробиття отворів .....	28
8.2.	Конструкторський розділ .....	29
8.2.1.	Проектування матриці для штампу .....	29
8.2.2.	Виконавчі розміри матриці і пуансона .....	32
8.2.3.	Розрахунок інших деталей штампа .....	33
8.2.4.	Штамповий блок .....	35
8.2.5.	Вибір обладнання .....	38
9.	КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПУ ДЛЯ ВІДБОРТОВКИ ОТВОРІВ .....	40
9.1.	Розрахунок технологічних параметрів для круглих отворів .....	40
9.1.1.	Розрахунок зусилля відбортювання отворів .....	41
9.2.	Конструкторський розділ .....	41
9.2.1.	Конструкція штампу .....	44
9.2.2.	Робота штампу .....	44
9.2.3.	Вибір обладнання .....	44
10.	МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИТЯЖКИ І ГНУТТЯ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ DEFORM-3D .....	45
10.1.	Результати моделювання витяжки і гнуття .....	45
10.2.	Результати моделювання відбортювання отворів .....	48
11.	НАЛАШТУВАННЯ ПРИНТЕРА ДЛЯ ДРУКУ МОДЕЛЕЙ .....	51
12.	ВИСНОВКИ .....	59
13.	ОХОРОНА ПРАЦІ .....	60
14.	ЛІТЕРАТУРА .....	63

# 1. ВСТУП

Холодне штампування листового металу є одним з найбільш ефективних способів виготовлення деталей з металу. Цей метод виробництва має численні переваги як з технологічного, так і з економічного погляду порівняно з іншими методами обробки металів. Максимальні результати в холодному штампуванні можуть бути досягнуті лише при комплексному підході до технічних аспектів на всіх етапах підготовки. Розробка технологічних процесів і проектування штампів є взаємопов'язаними завданнями, які можуть виконуватися різними фахівцями.

Виробництво інструментів для формування листового металу та заготовок завжди було важливою і актуальною метою прикладних досліджень і протягом довгого часу було запропоновано дуже багато альтернативних методів для їх виробництва.

Моделювання пошаровим наплавленням (FDM) – це технологія адитивного виробництва, за якої матеріал використовується для пошарового створення 3D-деталей. При такій технології матеріал розплавляється під дією температури в екструзійній головці і подається для друку за допомогою сопла. Після завершення нанесення шару платформа опускається вниз, або екструзійна головка переміщується і наносить новий шар матеріалу поверх попереднього. Технології адитивного виробництва можна використовувати для швидкого виготовлення інструментів або деталей з декількох різних матеріалів:

- термопласти;
- термопласти, армовані короткими волокнами;
- метали;
- технічна кераміка;
- металокераміка і тверді метали;

Всі ці види матеріалів можуть бути використані для швидкого оснащення, орієнтованого на дрібносерійне виробництво. В адитивному виробництві вихідний матеріал може подаватися до машини у вигляді гранул або у вигляді нитки, що є традиційною технологією. Використання друку моделей при використанні металів

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

і кераміки, навпаки, не є широко розповсюдженим, проте його все частіше застосовують для швидкого виробництва металевих і керамічних компонентів, і кількість опублікованої науково-технічної літератури про нього стрімко зростає.

Звичайні інструменти, штампи та прес-форми, що використовуються у виробництві листового металу або лиття під тиском, виготовляються з металу, як правило, з інструментальної сталі, оскільки їхній очікуваний термін служби повинен бути тривалим, а механічні та термічні характеристики повинні бути витривалими. 3D-друковані інструменти що виготовлені методами адитивного виробництва, нелегко задовольнити будь-яку з цих вимог, і це становить значну проблему для обробної промисловості. Звичайні металеві інструменти легше відповідають вищезазначеним механічним характеристикам, а також геометричним властивостям, оскільки вони піддаються механічній обробці і, в більшості випадків, також шліфуються до потрібної точності.

Зазвичай вважається, що використання екструзійного адитивного виробництва є недорогим, низькоякісним і низькопродуктивним класом адитивного виробництва і не підходить для виробництва реальних функціональних деталей, а лише для естетичних прототипів. Однак можливості технологій екструзійного адитивного виробництва значно розвинулися, і тепер можна використати широкий спектр матеріалів наприклад, полімерні матеріали, включаючи як низькоміцні полімерні матеріали, такі як нейлон або PLA, так і високоміцні полімерні матеріали, наприклад, PEI (поліефірїмід) і PEEK (політетрафторетилен), метали, в якості прикладу можна навести інструментальну сталь, і навіть кераміку, наприклад цирконій.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧІ

Основною метою дипломного проекту є проведення роботи з дослідження та застосування сучасних технологій, таких як адитивне виробництво, для використання технічних застосувань у галузі металообробки при виробництві листових деталей методами холодної штамповки.

Для виконання роботи було надано креслення виконаної деталі, за яким необхідно розробити конструкцію матриці і пуансона методом адитивного виробництва.

## 3. АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Сьогодні адитивне виробництво є дуже актуальним при створенні деталей що можуть застосовуватись в широкому спектрі сфер нашого життя та різних галузях виробництва, таких як аерокосмічна, автомобільна та медична, і це лише деякі з них. В даний час автомобільна та авіаційна галузі зміщують акцент на більш індивідуалізоване виробництво, таким чином стикаючись зі зростаючим попитом на середньо- і дрібносерійне виробництво, де потреба в гнучких і швидких інструментах потреба в гнучких і швидких інструментах набуває все більшого значення.

Методами 3D друку можливе виготовлення деталей і інструменту з різних пластмас, наприклад як ABS, нейлону, PLA, HIPS та металів. Традиційні методи виготовлення штампувального устаткування є досить трудомісткими, дорогими та потребують багато часу. Процеси створення деталей методами адитивного виробництва дозволяють оптимізувати економічну ефективність і скоротити час виконання замовлень, зменшити кількість працівників залучених до виготовлення деталі, що спричиняє її здешевлення, зменшення вартості і також зменшення наступних технологічних операцій обробки.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3D-друк або адитивне виробництво — це створення тривимірного об'єкта з CAD-моделі або цифрової 3D-моделі. Це можна зробити за допомогою різноманітних процесів, у яких матеріал наноситься, з'єднується або твердне, при цьому матеріал додається як правило, шар за шаром. Моделі надруковані таким чином можуть використовуватись у багатьох сферах, в залежності від обраного матеріалу, і призначення самої моделі.

Адитивне виробництво може відігравати вирішальну роль у багатьох сферах застосування, найпоширенішими з яких є промислове виробництво, медицина, архітектура, індивідуальне мистецтво та дизайн, і може варіюватися від повністю функціональних до суто естетичних застосувань.

Процеси 3D-друку нарешті повністю розкривають свій потенціал і наразі використовуються у виробничій та медичній галузях, а також у соціокультурному секторі, що сприяє використанню 3D-друку в комерційних цілях. За останнє десятиліття було багато галасу щодо можливостей, яких ми можемо досягти, прийнявши 3D-друк як одну з основних виробничих технологій. Використання цієї технології замінює традиційні методи, які можуть бути дорогими і трудомісткими.

В автомобілях, вантажівках і літаках адитивне виробництво починає змінювати як дизайн і виробництво кузовів і фюзеляжів, так і дизайн і виробництво силових агрегатів. Деталі можна друкувати як з металів, так і з пластиків, наприклад як поліпропілен, що є найбільш часто використовуваним пластиком у виробництві автомобільних кузовних елементів завдяки своїй вазі, зносостійкості та здатності поглинати удари, а також міцності та гнучкості. Щоб використовувати всі його переваги, деякі виробники 3D-принтерів розробили похідні поліпропілену, аналогічні пропілену, для зміцнення його фізико-механічних властивостей. Використання 3D друку дозволяє зменшити час виробництва деталей, дає можливість виготовлення складних за формою деталей, оптимізує параметрів готової моделі, таких як вага, точність розмірів деталі. Адитивним виробництвом виготовляють різні прототипи, корпуси для компонентів,

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

кріплення, стійки та інші деталі. Також такий друк використовується у литві для друку випалюємих моделей.

3D-друк використовується для друку індивідуальних для пацієнта імплантатів та пристроїв для медичного застосування. Також технологію 3D-друку можна використовувати для виготовлення точних копій органів. Принтер використовує зображення з МРТ або КТ пацієнта як шаблон і накладає шари гуми або пластику. Термічна деградація під час 3D-друку полімерів, що розсмоктуються, так само, як і в хірургічних швах, вивчена, і параметри можна регулювати, щоб мінімізувати деградацію під час обробки. 3D-друк для медичних пристроїв може варіюватися від протезів для людей до протезів для тварин і медичних верстатів.

Також 3D-друк використовують і для друкування архітектурних макетів. Макетування традиційними методами є дуже тривалим, трудомістким і вельми дорогим. Технологія 3D-друку значно скорочує терміни виготовлення макетів, підвищуючи їх якість і забезпечуючи високу ступінь точності, що наближує моделі до оригіналів. Основна частина роботи з проектування виконується на комп'ютері за допомогою сучасних програмних засобів для 3D-моделювання.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### 5.1. Аналіз технологічності виготовлення деталі «Кришка»

Для виготовлення штампів адитивними методами було отримано креслення деталі. Ця деталь, за якою необхідно виконати модель обладнання адитивними методами, виготовляється з листа алюмінію 1050 товщиною 0,5, [мм];  $\sigma_B = 147$  – межа міцності матеріалу, [МПа];  $\sigma_{зр} = 107,9$  – опір зрізу матеріалу, [МПа];

З самого початку необхідно дослідити структуру технологічного процесу деталі, проаналізувати її технологічність, визначити розміри та форму вихідної заготовки, обрати оптимальний тип розкрою полоси та розробити послідовність операцій, і якщо деталь буде неможливо виготовити, то треба відкоригувати необхідні параметри моделі.

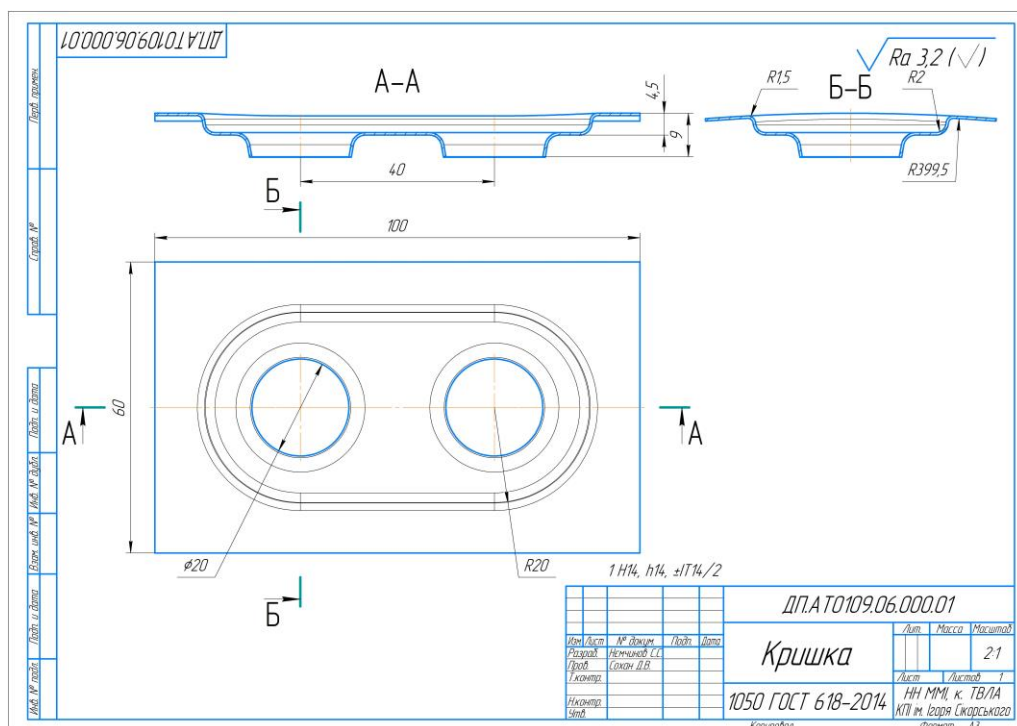


Рис. 5.1. – Креслення деталі

Виготовлення деталі виконується в такій послідовності технологічних операцій:

1. Відрізання заготовки;
2. V-подібне гнуття і витяжка;
3. Пробивання отворів;
4. Відбортовування отворів;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ

Арк.

8

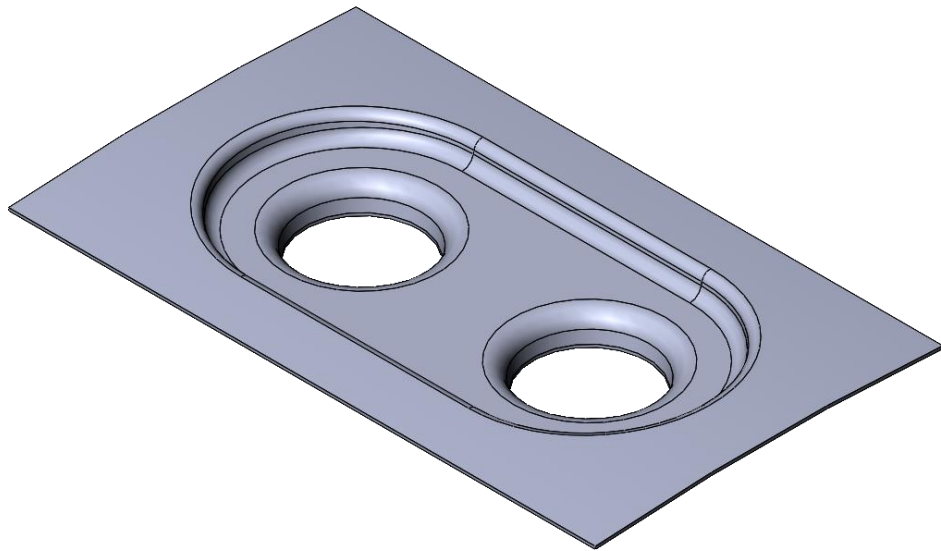


Рис. 5.2. – Модель деталі

Для аналізу технологічності деталі необхідно скористатись технологічними вимогами до проектування і конструювання деталей, потрібно проаналізувати її розміри, форму та відповідність технологічним вимогам. Для цього необхідно порівняти розміри та форму деталі з технологічними можливостями вищезазначених операцій листового штампування, та перевірити, чи відповідає деталь основним технологічним вимогам відповідних операцій. Якщо деталь відповідає всім вимогам, то її можна виготовляти за допомогою листового штампування. Для аналізу технологічності деталі необхідно скористатись технологічними вимогами до проектування і конструювання деталей.

З'ясуємо чи відповідають розміри деталі та її форма технологічним можливостям вище вказаним операціям листового штампування та чи задовольняють вони основні технологічні вимоги відповідних операцій.

### **5.1.1. Аналіз загальних технологічних вимог до проектування штампованих деталей з листового металу**

1. Механічні властивості листового матеріалу відповідати не тільки вимогам міцності і жорсткості виробу, але і процесу формування і характеру пластичних деформацій.

2. Необхідно враховувати можливість використання більш пластичного, хоча і менш міцного, металу для операцій по зміні форми, так як в процесі холодного

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

штампування він зміцнюється, що значно підвищує характеристики міцності матеріалу.

3. При розрахунку міцності не слід завищувати товщину листового металу з урахуванням його загартування в процесі холодної деформації і досить високої жорсткості штампованих деталей.

4. Необхідно прагнути до створення легких і легких конструкцій деталей, застосовуючи штампування ребер жорсткості, відбортовку, згинання фланців, закачування кромки і т. Д., А також заміну важких стандартних прокатних профілів більш легкими - гнутими або складеними профілями з листового металу для підвищення жорсткості.

5. Конфігурація деталі або її розгортки повинна забезпечувати найбільш вигідне використання листового матеріалу, даючи можливість використовувати маловідходний або безвідходний розкрій. Для отримання безвідходного різання розмір і площа заготовки не слід штучно збільшувати.

6. Якщо відходів не уникнути, бажано надати їм конфігурацію, що відповідає іншій частині, або використовувати повторно. Необхідно уніфікувати і скоротити діапазон застосовуваних товщин і марок листового прокату.

8. Необхідно дотримуватися кратності розмірів великих шматкових заготовок до розмірів листа, інакше відходи значно збільшаться.

9. Технологічні штампо-зварні конструкції повинні широко застосовуватися замість литих, кованих або клепаних виробів.

10. Необхідно прагнути до зменшення кількості окремих деталей шляхом заміни їх на цільні штамповані, що зазвичай призводить до спрощення технологічного процесу і економії матеріалів, виняток становлять випадки, коли результатом такої заміни є деталь. Настільки складна конфігурація, що вимагає підвищеної витрати матеріалу, є громіздкою або низькотехнологічною.

11. Методи штампування слід широко використовувати для складання окремих деталей шляхом клепки, відбортовки, порожнистої висадки, згинання країв і ніжок, закачування тощо.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

12. Допуски на розміри штампованих деталей повинні відповідати економічній точності операцій холодного кування (клас 4-5), при необхідності підвищену точність деталей (клас 2-3) можна отримати введенням додаткових операцій (зачистка, калібрування, рихтування).

### **5.1.2. Аналіз технологічності проведення операції пробивання**

1. Слід уникати складних конфігурацій з вузькими і довгими контурними вирізами або дуже вузькими прорізами ( $b > 2S$ ).

Наша деталь не має контурних вирізів, або вузьких прорізів.

2. Сполучення сторін зовнішнього контуру слід виконувати із заокругленнями лише під час вирубки деталі по всьому контуру. Для можливості застосування безвідходного розкрою слід, навпаки, допускати сполучення сторін під прямим кутом.

Наша заготовка має просту геометричну форму, а саме прямокутника, тому при виробництві заготовки вирубкою необхідно застосовувати розкрій без відходу.

3. Слід уникати вирубку довгих і вузьких деталей постійної ширини за  $A \geq 3B$ , замінюючи вирубку розплющуванням дротяних заготовок.

Для нашої деталі при  $60 \geq 300$  умова не виконується, деталь не є довгою і її можна виготовити вирубкою.

4. Найменші розміри отворів, що пробиваються, можна обрати за [2, табл. 135]. Для алюмінію має виконуватись умова, що  $D > 0,3S$ .

При діаметрі отвору 14,4 мм і товщині матеріалу 0,5 мм ця умова виконується.

5. Найменша відстань від краю отвору до прямолінійного зовнішнього контуру повинна бути не менше  $S$  для фігурних круглих отворів і не менше  $1,5S$ , якщо краї отвору паралельні контуру деталі.

У нашому випадку ця відстань становить 23 мм, умова виконується.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

6. Не слід розташовувати отвори в заготовці, що підлягає згинанню, близько до радіуса заокруглення деталі. Найменша відстань від краю отвору до загнутих полиць має становити  $a \geq r + 2S$ , де  $r$  - радіус згину.

8. У витягнутих деталях, які мають отвори в дні або фланці, що пробиваються після витяжки, відстань  $c$  від стінки деталі до краю отвору має бути  $c \geq r + 0,5S$ , де  $r$  - радіус заокруглення дна або фланця.

В нашому випадку це  $13 \geq 2 + 0,25$ , тому умова також виконується.

9. Найменша відстань між отворами в разі одночасного їх пробивання має дорівнювати  $b = (2 - 3)S$ .

При нашій відстані між отворами 26 мм, ця умова виконується.

### 5.1.3. Аналіз технологічності проведення витяжки і V подібного гнуття

1. Мінімально допустимі радіуси вигину слід використовувати тільки в разі конструктивної необхідності. У більшості випадків можливе застосування збільшених радіусів вигину  $r \geq S$ , а для товстих заготовок вони ще більші.

Знайдемо мінімальний допустимий радіус гнуття деталі. [2, ст. 61, табл. 20]:

$$\frac{r_{min}}{S} < \frac{r}{S} \quad (5.1)$$

Для алюмінію у відпаленому або нормальному стані:

– При розташуванні волокон поперек  $\frac{r_{min}}{S} = 0$ .

Отримуємо  $\frac{r_{min}}{S} < \frac{r}{S} = 0 < \frac{399,5}{0,5} = 0 < 799$  – радіус технологічний.

– При розташуванні волокон вздовж  $\frac{r_{min}}{S} = 0,3$ .

Отримуємо  $\frac{r_{min}}{S} < \frac{r}{S} = 0,3 < \frac{1}{1} = 0,3 < 799$  – радіус технологічний.

Якщо мінімальні відносні радіуси згинання при різних положеннях волокон є меншими за відносні радіуси згинання даної деталі, то немає значення, як саме розташовані відносно один одного волокна прокату і лінії згинання.

2. По можливості необхідно уникати дуже складних і асиметричних форм витягування деталей, вдаючись до них тільки в разі чіткої конструктивної необхідності [2, ст.281].

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наша деталь має доволі просту та симетричну форму деталей що витягуються.

3. Радіуси кривизни у фланця повинні бути якомога більшими, а радіуси кривизни внизу - меншими:  $r \geq (2 \div 4)S$ . Примикання стінок до днища без радіуса кривизни може бути досягнуто додатковим калібруванням або штампуванням дуже товстих заготовок ( $D / s \leq 20$  при  $m > 0,7$ ).

Перевіримо радіуси заокруглення у дна деталі і її фланця, повинна виконуватись умова:

$$r \geq (2 \div 4)S \quad (5.2)$$

Де:

$r$  – радіус гнуття;

$S$  – товщина металу;

$$1,5 \geq (2 \div 4) * 0,5 = 1,5$$

$$2 \geq (2 \div 4) * 0,5 = 1,5$$

$$3 \geq (2 \div 4) * 0,5 = 1,5$$

При товщині металу 0,5 мм, для всіх трьох радіусів виконується умова, не дивлячись на те що радіус біля фланцю по можливості краще взяти більшим ніж на дні деталі.

4. Напіввідкриті асиметричні форми порожнистих деталей необхідно проектувати з урахуванням можливості парного малюнка з подальшим розрізанням на дві частини.

Порожниста деталь має вісь симетрії, її неможливо виготовити методом спареної витяжки.

5. У прямокутних ящиках слід уникати гострих кутів в плані і в нижній частині деталі, за винятком випадку виготовлення ящиків методом холодного видавлювання.

Деталь не має гострих кутів.

6. При кресленні порожнистих деталей складної конфігурації необхідно передбачити певні технологічні основи закріплення заготовок в операціях.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Порожниста деталь має відносно просту конфігурацію, і може бути відформована в один крок, технологічні бази відсутні.

Як висновок деталь є технологічною і її виготовлення можливе.

## 5.2. Розрахунок розмірів заготовки

У даному випадку деталь виготовляється за допомогою процесу листової формовки. Для визначення параметрів деталі, необхідно провести розрахунки, використовуючи метод витяжки. В якості основного параметра будемо використовувати формулу для знаходження діаметру, як розмірів заготовки, який визначається на основі довжини і ширини заготовки.

Загалом діаметр заготовки розраховується по такій формулі:

$$D = 1,13 \sqrt{\Sigma_f} \quad (5.3)$$

Де:

$\Sigma_f$  – сума площин окремих елементів поверхні деталі, [мм<sup>2</sup>];

Формула дозволяє визначити оптимальний діаметр заготовки для виготовлення деталі шляхом витяжки. Вона враховує всі площі окремих елементів поверхні деталі, що забезпечує точність і ефективність процесу формовки.

### 5.2.1. Розрахунок ширини заготовки

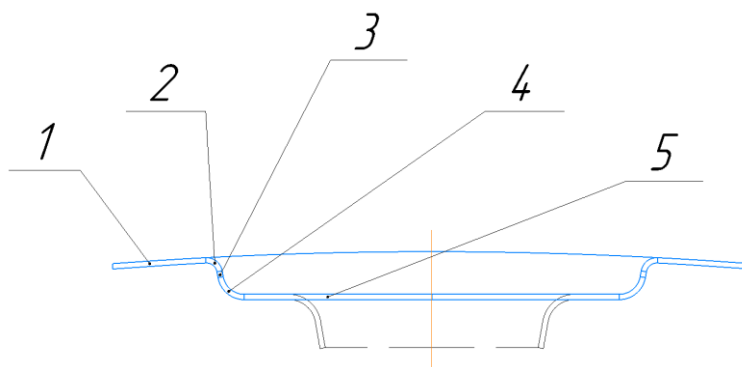


Рис. 5.3. – Схема деталі

#### Хід розрахунку

Знайдемо площини окремих поверхонь деталі [2, ст. 93]:

**Перша ділянка** має форму шарового поясу. Площа розраховується за формулою:

$$F_1 = \pi dh = \pi * 399,5 * 1,06 = 1330,37 \text{ мм}^2$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Друга ділянка має форму четверті увігнутого сферичного кільця. Площа розраховується за формулою:

$$F_2 = \pi \left( d \frac{\pi r \alpha}{180} - 2rh \right) = \pi \left( 42,32 * \frac{\pi * 1 * 83,04}{180} - 2 * 1 * 1,32 \right) = 184,39 \text{ мм}^2$$

Третя ділянка має форму урізаного конусу. Площа розраховується за формулою:

$$F_3 = \frac{\pi l}{2} (d_2 + d_1) = \frac{\pi * 0,55}{2} (40,35 + 40,16) = 69,55 \text{ мм}^2$$

Четверта ділянка має форму четверті випуклого сферичного кільця. Площа розраховується за формулою:

$$F_4 = \pi \left( d \frac{\pi r \alpha}{180} + 2rh \right) = \pi \left( 35,23 * \frac{\pi * 2 * 80}{180} + 2 * 2 * 2,15 \right) = 336,08 \text{ мм}^2$$

П'ята ділянка має форму кола. Площа розраховується за формулою:

$$F_5 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * 35,23^2}{4} = 974,79 \text{ мм}^2$$

Використовуючи формулу для розрахунку діаметра заготовки:

$$D = 1,13 \sqrt{1330,37 + 184,64 + 69,55 + 336,08 + 974,79} = 60,80 \approx 61 \text{ мм}$$

Отже, ширина заготовки для даної деталі складає приблизно 61 мм.

### 5.2.2. Розрахунок довжини заготовки

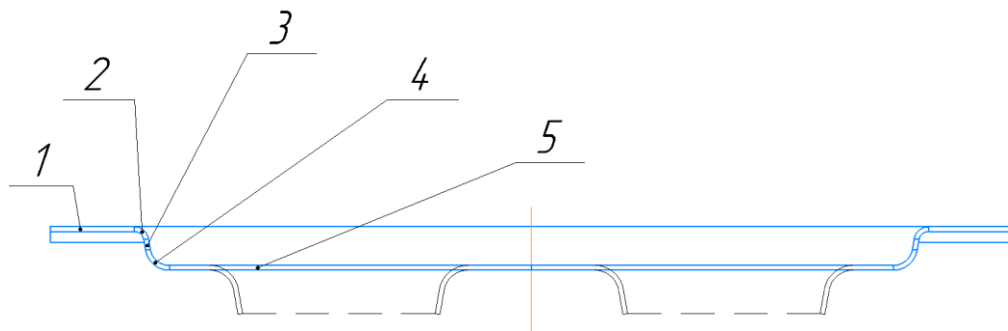


Рис. 5.4. – Схема деталі

#### Хід розрахунку

Знайдемо площини окремих поверхонь деталі [2, ст. 93]:

Перша ділянка має форму кільця. Площа розраховується за формулою:

$$F_1 = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} (100^2 - 82,52^2) = 2508,36 \text{ мм}^2$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Друга ділянка має форму четверті вігнутого сферичного кільця. Площа розраховується за формулою:

$$F_2 = \pi \left( d \frac{\pi r \alpha}{180} - 2rh \right) = \pi \left( 82,52 * \frac{\pi * 1 * 80}{180} - 2 * 1 * 1,33 \right) = 353,61 \text{ мм}^2$$

Третя ділянка має форму урізаного конусу. Площа розраховується за формулою:

$$F_3 = \frac{\pi l}{2} (d_2 + d_1) = \frac{\pi * 1,12}{2} (80,55 + 80,16) = 282,73 \text{ мм}^2$$

Четверта ділянка має форму четверті випуклого сферичного кільця. Площа розраховується за формулою:

$$F_4 = \pi \left( d \frac{\pi r \alpha}{180} + 2rh \right) = \pi \left( 75,23 * \frac{\pi * 2 * 80}{180} + 2 * 2 * 2,15 \right) = 687 \text{ мм}^2$$

П'ята ділянка має форму кола. Площа розраховується за формулою:

$$F_5 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * 75,23^2}{4} = 4445$$

Використовуючи формулу для розрахунку діаметра заготовки:

$$D = 1,13 \sqrt{2508,36 + 353,61 + 282,73 + 687 + 4445} = 102,8 \approx 103 \text{ мм}$$

Отже, довжина заготовки для даної деталі складає приблизно 103 мм.

Після розрахунку ми маємо розміри заготовки:

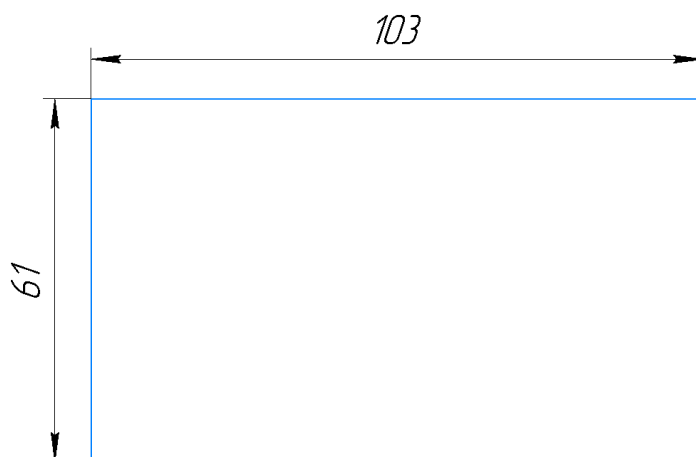


Рис. 5.5. – Розміри заготовки

### 5.3. Розрахунок діаметрів отворів для відбортовки

Геометричні розміри при відбортовці визначаються виходячи з рівності об'ємів заготовки і деталі. Зазвичай висота борта задана кресленням деталі. У

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

цьому випадку діаметр отвору під відбортовку наближено розраховують, як для простого гнuttя. Це допустимо завдяки невеликій величині деформацій в радіальному напрямку та наявності значного утонення матеріалу.

Знайдемо діаметри отворів що будуть відбортовані за формулою [2, ст. 218]:

$$d = D - 2(H - 0,43r - 0,72S) \quad (5.4)$$

Де:

- $D$  – діаметр відбортованого отвору по нейтральній лінії, [мм];
- $H$  – висота борта, [мм];
- $r$  – радіус заокруглення, [мм];
- $S$  – товщина заготовки, [мм];

Підставимо значення в формулу:

$$d = 20,49 - 2(4,5 - 0,43 * 2,5 - 0,72 * 0,5) = 14,4 \text{ мм}$$

Таким чином, діаметр отвору, який потрібно отримати для операції відбортовки, становить 14,4 мм.

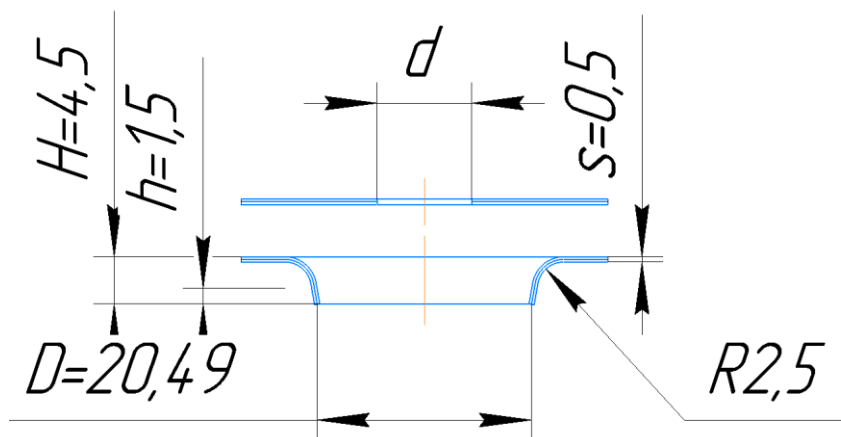


Рис. 5.6. – Розміри отворів

На рисунку 5.4. показані параметри отворів, які враховуються при відбортовці. Зверху наведено отвір після операції пробивки, знизу відбортований отвір відповідно.

## 6. ВИБІР МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ

### 6.1. Вибір розкрою матеріалу

Через те, що деталь має просту прямокутну форму, її можна отримати декількома способами. Наприклад можливий метод штампування заготовки з смуги що буде отримуватись різанням на гільйотинних ножицях. Можливий метод вирізання заготовки ручним інструментом з металевого листа. Також можливе використання верстатів з ЧПК для вирізання заготовки плазмою.

Метод штампування вимагає виробництво і проектування штампів, що є дуже затратним і дорогим способом виробництва, але має плюси при масовому виробництві деталей. Ручне різання листа є досить практичним, але не дає упевненості в точності виготовлених заготовок. Використання лазерних верстатів з ЧПК, є хорошим варіантом, але при використанні такого способу буде змінюватись поверхня різання. Гільйотинні ножиці коштують дешевше ніж вищезазначені способи, і дозволяють отримувати заготовки необхідної форми, тому обираю саме його.

Отвори, що необхідно отримати після формування заготовки можна отримати декількома шляхами такими як свердлінням, лазерним різанням, або операцією пробивання отворів. Для більш точнішого виготовлення деталі, і уникнення наступних дефектів на бортах деталі обираю метод штампування, але інші методи також можливо використовувати.

Для досягнення точності та відповідності розмірів заготовки встановленим стандартам необхідно враховувати допуск при виконанні операції різання з використанням гільйотинних ножиць. Допуски відіграють ключову роль: вони важливі для врахування ймовірних відхилень, які можуть проявитися під час процесу різання. У той же час, їхня мета полягає в тому, щоб гарантувати успішну відповідність кінцевого продукту заздалегідь визначеним параметрам, що робить його важливою інформацією, яку необхідно враховувати протягом усього процесу.

З розрахованих розмірів заготовки нам необхідно розрахувати розміри смуг та заготовок, що будуть відрізатися на гільйотинних ножицях і включати в себе

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

допуск розмірів. Нижче на малюнку наведено заготовку, яку необхідно отримати відрізанням:

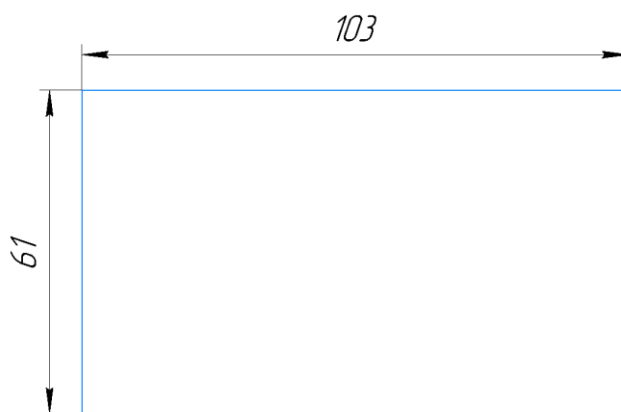


Рис. 6.1. – Розміри заготовки

Тому в цьому випадку ширину смуги можна визначити за формулою [1, ст. 9].

$$B_{\text{п}} = [B + \delta]_{-\delta} \quad (6.1)$$

Де:

- $B = 61$  – ширина заготовки, [мм];
- $\delta = 0,6$  [1, ст. 13, табл. 5] – допуск на ширину заготовки яка нарізана на гільйотинних ножицях, [мм];

Розраховую номінальну ширину заготовки:

$$B_{\text{п}} = [61 + 0,6]_{-0,6} = 61,6_{-0,6} \text{ мм}$$

Тому в цьому випадку довжину заготовки можна визначити за формулою [1, с.9].

$$A_{\text{п}} = [A + \delta]_{-\delta} \quad (6.2)$$

Де:

- $A = 103$  – довжина заготовки, [мм];
- $\delta = 0,6$  [1, ст. 13, табл. 5] – допуск на довжину заготовки яка нарізана на гільйотинних ножицях, [мм];

Розраховую номінальну довжину заготовки:

$$A_{\text{п}} = [103 + 0,6]_{-0,6} = 103,6_{-0,6} \text{ мм}$$

Нижче зображено рисунок прямокутної заготовки з допусками на розміри.

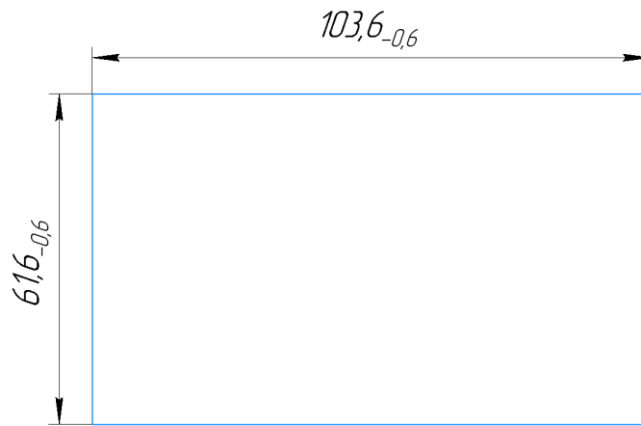


Рис. 6.2. – Розміри заготовки з допусками

## 6.2. Розрахунок коефіцієнту використання матеріалу

В якості вихідної заготовки використовується стандартний лист з розмірами 1000\*2000 мм (ГОСТ 19904-90). Якщо розподілити заготовки поперек листа, смуги будуть мати довжину 1000 мм. Таке розташування дозволяє мінімізувати кількість відходів, якщо виріб має відповідні розміри. При розподіленні деталей уздовж листа, смуги будуть мати довжину 2000 мм. Вибір способу розподілення листа залежить від конкретних вимог до кінцевої форми деталі, наявного обладнання для розрізання.

Через малі розміри і просту форму деталі в нашому випадку можна розглянути два можливих варіанти розподілення листа на смуги: поперек і уздовж листа:

Поперек:

Кількість смуг з листа:	$2000/103,6 = 19,3 = 19$
Заготовок зі смуги:	$1000/61,6 = 16,2 = 16$
Заготовок з листа:	$16 * 19 = 304$

Уздовж:

Кількість смуг з листа:	$1000/103,6 = 9,6 = 9$
Заготовок зі смуги:	$2000/61,6 = 32,5 = 32$
Заготовок з листа:	$9 * 32 = 288$

Як видно з розрахунків вище при використанні розкрою «поперек» листа ми отримаємо більше деталей. Довжина смуги при цьому буде залежати від розмірів попередньо розрізаного листа, тобто 1000 мм. Далі необхідно визначити

коефіцієнт використання матеріалу при різанні листа на смуги для однакових деталей [1, ст.26, формула 4.12]:

$$K_B = \frac{f_{\text{дет}} * m}{C * A} * 100\% \quad (6.3)$$

Де:

- $f_{\text{дет}} = 6381 \text{ мм}^2$  – площа поверхні деталі;
- $m = 304$  – кількість деталей, що отримуються з листа;
- $C = 1000 \text{ мм}$  – довжина листа;
- $A = 2000 \text{ мм}$  – ширина листа;

$$K_B = \frac{6381 * 304}{1000 * 2000} * 100\% = 96\%$$

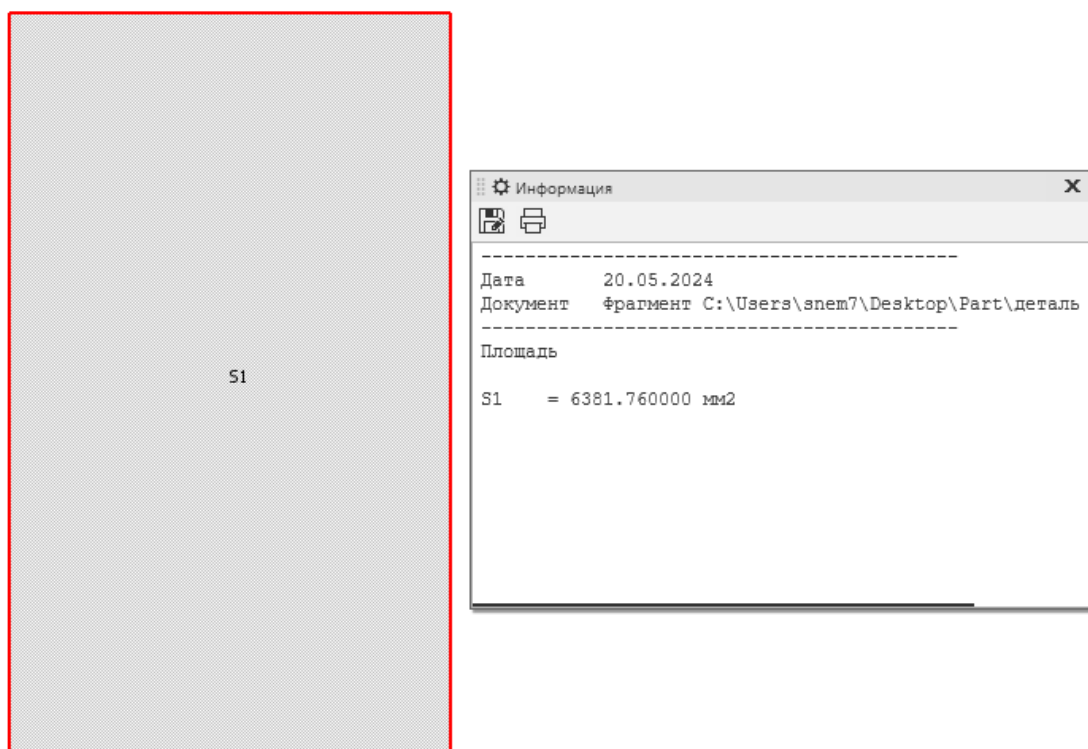


Рис. 6.3. – Площина деталі

### 6.3. Розрахунок зусиль технологічних операцій

#### 6.3.1. Зусилля різання листа на смуги

Різання листового металу на смуги є однією з ключових операцій у виробничих процесах, пов'язаних з обробкою металу. Одним з найпоширеніших способів різання є використання гільйотинних ножиць. Цей спосіб дозволяє ефективно розділити листи на смуги заданої ширини, забезпечуючи точність і

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

високу якість розпилу. Попередньо ми обрали різання листа на смуги гільйотинними ножицями.

Розрахуємо зусилля різання листа на смуги, що визначається за формулою [2, ст. 10, табл. 2]:

$$P = \frac{S^2 * \sigma_{зр}}{2 * \text{tg}\varphi} \quad (6.4)$$

Де:

- $S = 0,5$  – товщина листа, [мм];
- $\varphi = 0^\circ 50'$  – кут нахилу ножа;
- $\sigma_{зр} = 107,9$  – опір зрізу для алюмінію 1050, [МПа];

$$P = \frac{S^2 * \sigma_{зр}}{2 * \text{tg}\varphi} = \frac{0,5^2 * 107,9}{2 * 0,087} = 155 \text{ Н}$$

Для вибору устаткування необхідно збільшити розраховане зусилля на 30%, через можливі дефекти металу і ріжучих кромek ножиць, наприклад як через наявність згину при різанні, а також нерівномірність товщини матеріалу та притуплення ножів [2, ст. 11].

Розрахуємо остаточне зусилля різання на гільйотинних ножицях для вибору устаткування:

$$P_{заг} = 1,3 * P = 1,3 * 155 = 201,5 \text{ Н}$$

Ми отримали зусилля в 201,5 Н, ножиці що підходять за цим зусиллям різання є малими і не призначені для листів великих розмірів. За знайденим зусиллям, товщиною листа та шириною різку обираю ножиці моделі НД3316 з номінальним зусиллям 8,3 кН [3, ст. 172, табл. 41].

Основні технологічні характеристики ножиць НД3316		
Номінальне зусилля	8,3	тс
Найбільша товщина матеріалу	4	мм
Найбільша ширина заготовки що відрізається	2000	мм
Частота руху 1/хв	60	
Кут нахилу ножа	1°20'	град
Хід ножа	65	мм

Таблиця 6.1. – Характеристики обраних ножиць

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 7. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПУ ДЛЯ ЛИСТОВОЇ ФОРМОВКИ

Штамп для операції листової формовки заготовки необхідно надрукувати методом 3D друку. Конструювання штампа виготовленим таким шляхом вимагає врахування специфіки технології друку та матеріалу, що буде застосовуватись для виготовлення інструментів. Для початку створення моделі необхідно врахувати зусилля формовки, щоб спроектувати інструмент необхідної міцності. Розрахунок зусилля наведено в розділі нижче.

### 7.1. Розрахунок зусиль гнуття і витяжки заготовки

На першій операції формовки заготовки одночасно буде відбуватися два процеси: гнуття заготовки і її витяжки. Необхідно порахувати зусилля для кожного з процесів і скласти їх разом.

Розрахуємо зусилля гнуття з калібруванням заготовки по формулі, що наведена в [2, ст. 72]:

$$P_T = pF \quad (7.1)$$

Де:

- $p$  – зусилля калібрування, для алюмінію 1 – 1,5, [кгс/мм<sup>2</sup>];
- $F$  – площа каліброваної заготовки під пуансоном, [мм<sup>2</sup>];

$$P_T = 1,5 * 3170 = 4755 \text{ кгс}$$

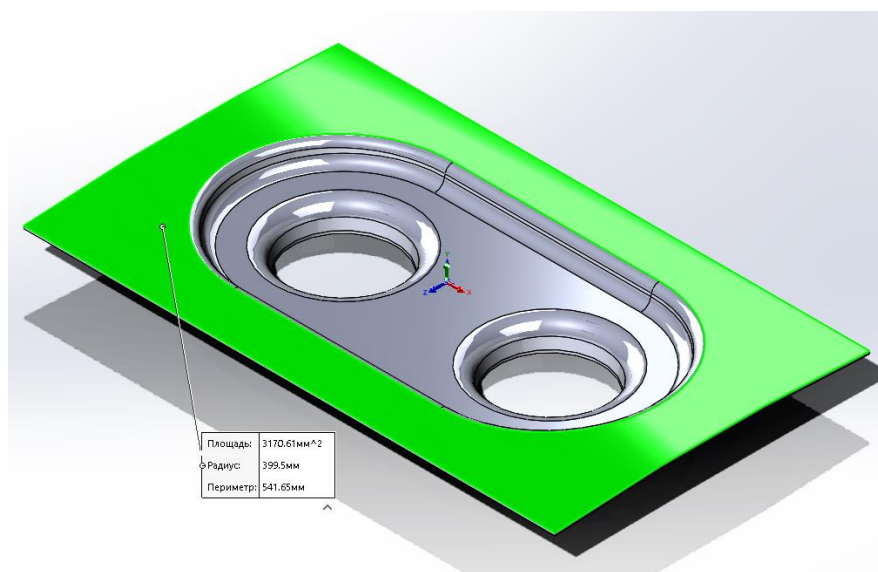


Рис. 7.1. – Площина поверхні для гнуття

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Калібрування заготовки буде забезпечуватись притисканням пуансону до заготовки при її гнутті. Одночасно з гнуттям заготовки буде виконуватись операція витяжки денця деталі, для якої також необхідно розрахувати зусилля.

Розрахуємо зусилля витяжки по формулі [1, ст. 172]:

$$P_B = (2A + 2B - 1,72r)S\sigma_B k_H \quad (7.2)$$

Де:

- $A$  – довжина прямокутної коробки, [мм];
- $B$  – ширина прямокутної коробки, [мм];
- $r$  – радіус кутового заокруглення коробки, [мм];
- $S$  – товщина матеріалу, [мм];
- $\sigma_B = 10$  – межа міцності алюмінію, [кгс/мм<sup>2</sup>];
- $k_H = 0,9$  – коефіцієнт для витяжки низької коробки з [1, табл. 76];

Підставимо вище зазначені дані до формули і отримаємо:

$$P_B = (2 * 80 + 2 * 40 - 1,72 * 20)0,5 * 10 * 0,9 = 925,2 \text{ кгс}$$

Для того щоб знайти загальне зусилля просумуємо їх з двох процесів:

$$P_{\text{заг}} = P_{\Gamma} + P_B = 4775 + 925,2 = 5700,2 \text{ кгс} = 55,9 \text{ кН}$$

## 7.2. Конструкторський розділ

Деталь має малі розміри, тому матриця та пуансон мають повторювати поверхню готової деталі для збільшення точності її виготовлення.

Робоча поверхня пуансона має заокруглену форму з виступом посередині, за допомогою якого буде виконуватись витяжка. Радіус заокругленої базової поверхні становить 400 мм. Ребро виступу, що розташовано поряд з заокругленою поверхнею має заокруглення радіусом 1,5 мм, а при вершині виступу має місце заокруглення радіусом 2 мм по всій довжині контуру. Основна робоча поверхня матриці також має заокруглену форму, наявне поглиблення в формі виступу пуансона. Заокруглена поверхня матриці має радіус 399,5 мм, ребро, що з'єднує поглиблення і округлу поверхню, має заокруглення радіусом 1,5 мм, ребро на дні виймки також має радіус 2 мм. Матриця і пуансон мають бортики, які призначені для фіксації прямокутної листової заготовки.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

При врахуванні виробництва інструментів методами адитивного виробництва, необхідно спростити складні елементи матриці і пуансона. Попередньо було надруковано модель матриці без бокових заокруглень, що вплинуло на якість друку, через що з'явилась деформація в цих місцях. Для кращої якості друку інструментів було зроблено заокруглення на ребрах моделі, це зупиняє розшаровування слоїв при їх пошаровому нанесенні. Для створення інструменту також скористаємося загальними правилами, що наведені у літературі [1, ст. 229], [2, ст. 179]. Конструювання моделі відбувалось у програмі SolidWorks 3D.

Нижче дані рисунки, на яких наведено зображення готових моделей.

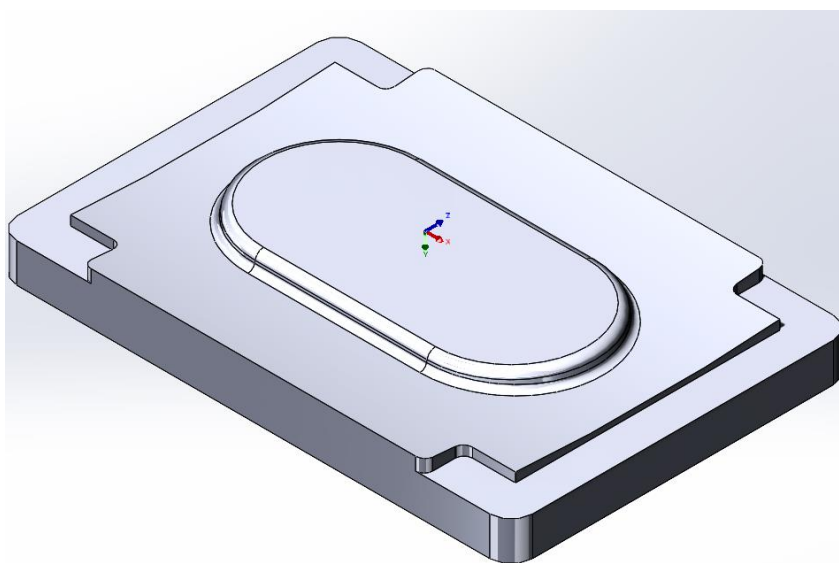


Рис. 7.2. – Модель пуансона

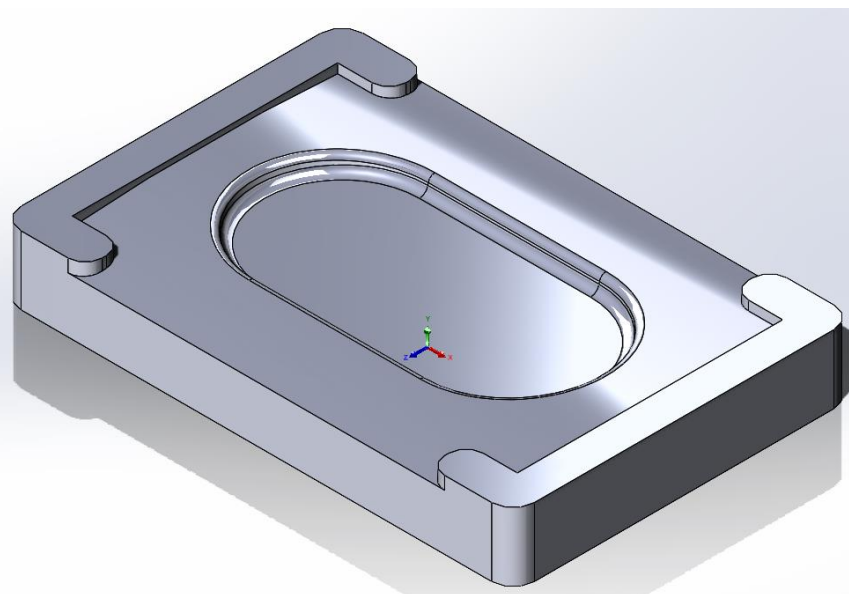


Рис. 7.3. – Модель матриці

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

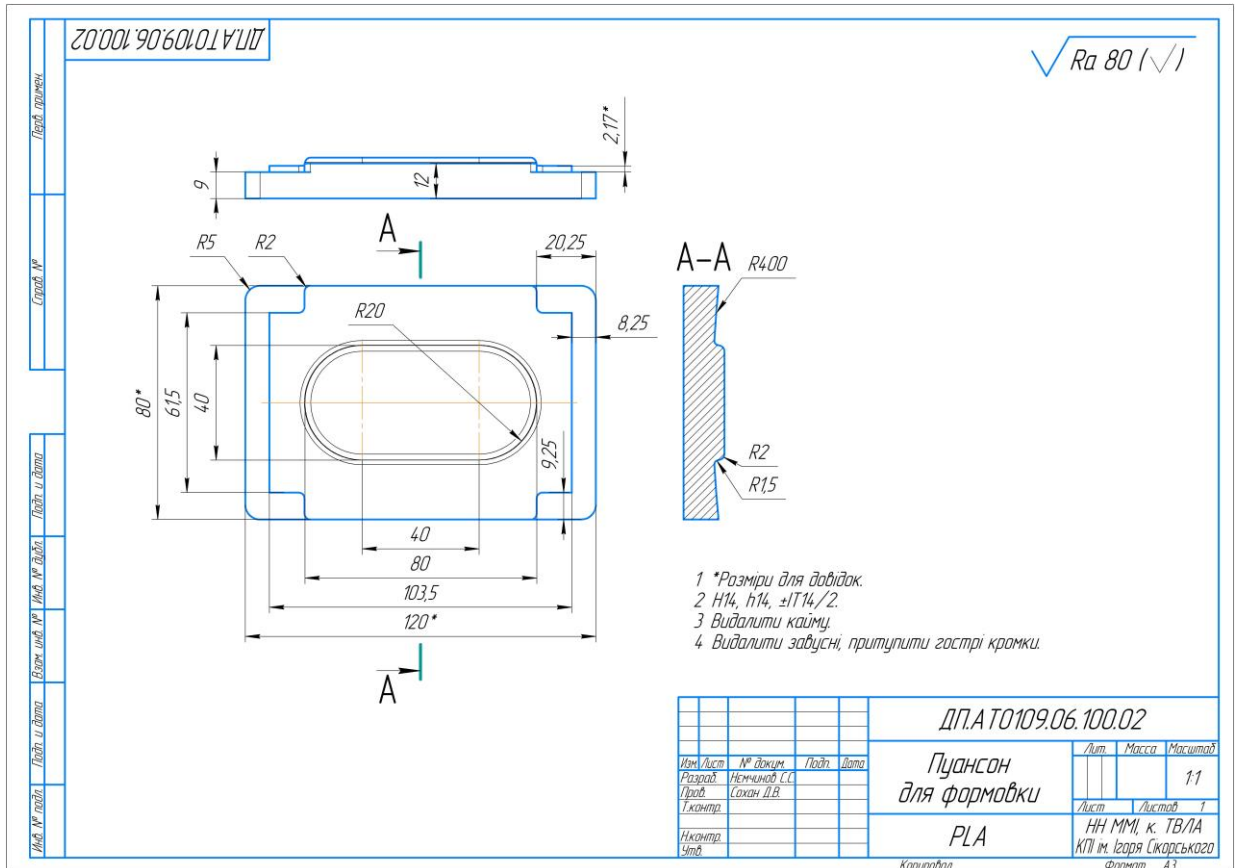


Рис. 7.4. – Креслення пуансона

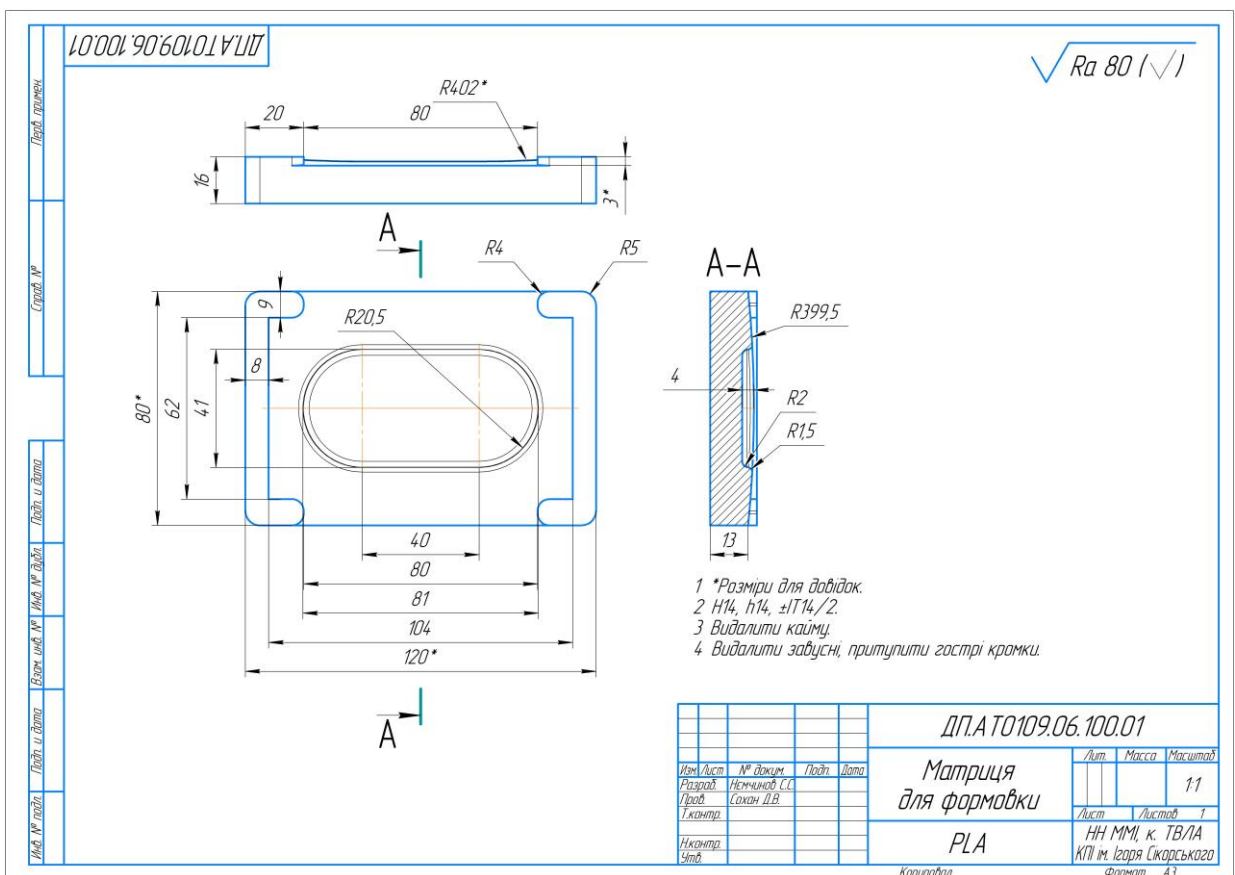


Рис. 7.5. – Креслення матриці

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

### 7.2.1. Конструкція штампу

Через відсутність фіксації пакету штампу, його конструкція є відносно простою і складається з матриці (1), і пуансона (2).

### 7.2.2. Робота штампу

На початку роботи матриця вкладається на станину, після чого на матрицю вкладається алюмінієва заготовка, на яку вкладається пуансон що притискається штоком гідроциліндра. Під час робочого ходу шток гідроциліндру притискає пуансон до заготовки і матриці, відбувається формовка заготовки. Після чого працівник в ручну забирає заготовку знімаючи пуансон. Для повторення операції необхідно вкласти заготовку і покласти на неї пуансон.

### 7.2.3. Вибір обладнання

Згідно з попередніми розрахунками, для виконання операції формування заготовки потрібно зусилля 55,9 кН. Для забезпечення точного та ефективного формування було вирішено використати прес з достатнім запасом зусилля, щоб уникнути можливих непередбачених ситуацій та забезпечити надійність процесу. Тому для виконання цієї операції було обрано пневмогідролічний прес TORIN TY50001 з максимальним зусиллям 50 тонн, що еквівалентно приблизно 490 кН. Саме цей прес було обрано через його наявність у лабораторії.

Основні характеристики пресу TORIN TY50001		
Довжина ходу штока	175	мм
Клапан обмеження тиску	Так	
Максимальна робоча висота	890	мм
Максимальне зусилля	50	т
Манометр	Так	
Відстань між стійками	650	мм

Таблиця 7.1. – Характеристики обраного пресу

## 8. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПУ ДЛЯ ПРОБИВАННЯ ОТВОРІВ

### 8.1. Розрахунок зусилля операції пробиття отворів

Знаходимо технологічне зусилля пробивання отворів в деталі. З підручника [2, ст. 511] обираю межу зрізу для матеріалу 1050:  $\sigma_{зр} = 7 - 11 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$ , для подальших розрахунків обираю  $\sigma_{зр} = 11 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} = 107,9 \text{ МПа}$

Для початку розрахуємо зусилля для технологічних операцій вирубування та пробивання, що визначається за формулою [2, ст. 16]:

$$P_{\text{вируб}} = L * s * \sigma_{зр} \quad (8.1)$$

Де:

- $L$  – довжина контуру, що вирубується, [мм];
- $s$  – товщина матеріалу деталі, [мм];
- $\sigma_{зр}$  – опір зрізу для алюмінію 1050, [МПа];

$$P_{\text{вируб}} = L * s * \sigma_{зр} = 90,47 * 0,5 * 107,9 = 4,9 \text{ кН}$$

Зусилля пресу зазвичай необхідно брати розрахованого зусилля для збільшення запасу жорсткості, тому необхідно загальне зусилля збільшити на 30%:

$$P_{\text{прес}} = 1,3 * 4,9 = 6,37 \text{ кН}$$

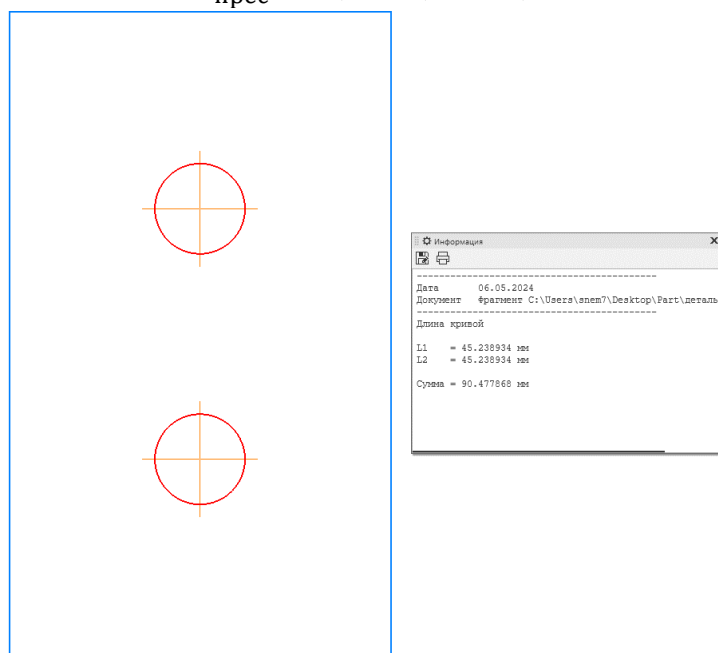


Рис. 8.1. – Контур для вирубки

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

## 8.2. Конструкторський розділ

### 8.2.1.Проектування матриці для штампу

Форму матриці визначаю відповідно до форми та розмірів деталі, яку планується штампувати.

Матриця зазвичай має прямокутну форму, розміри для якої визначаю виходячи з розмірів робочої форми [1, ст. 74].

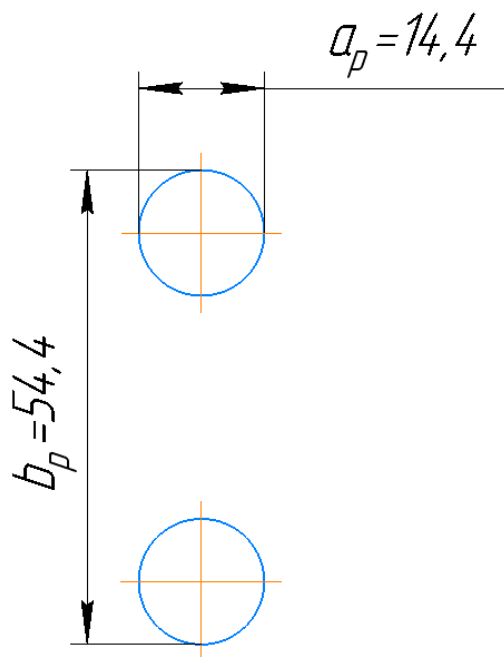


Рис. 8.2. – Розміри робочої зони матриці

Товщину матриці  $H_M$  визначаю за формулою [1, ст. 76, формула 24]:

$$H_M = s + K_M * \sqrt{a_p + b_p} + 7 \quad (8.2)$$

Де:

–  $K_M = 0,5$ , для Алюмінію 1050 – коефіцієнт, що залежить від матеріалу, що штампується [1, ст. 76]

–  $s$  – товщина матеріалу, [мм];

–  $a_p$  – розмір робочої зони, [мм];

–  $b_p$  – розмір робочої зони, [мм];

$$H_M = 0,5 + 0,5 * \sqrt{14,4 + 54,4} + 7 = 11,6 \text{ мм}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Наступним кроком необхідно виконати перевірку товщини матриці, чи достатньо товщини матриці, по емпіричній формулі [1, ст. 79, формула 25]:

$$H_M = \sqrt[3]{100 * P} \quad (8.3)$$

Де:

–  $P = 4,9$  – зусилля пробивання, [кН];

$$H_M = \sqrt[3]{100 * 4,9} = 7,9 \text{ мм}$$

Обираю найближчу висоту матриці (в більшу сторону), за стандартним значенням з ряду розмірів товщин матриці [1, ст.79]

$$H_M = 12 \text{ мм}$$

Зупиняю свій вибір матеріалу для матриці на сталі У10А та визначаю інші розміри матриці за схемою. [1, ст. 78, рис. 9].

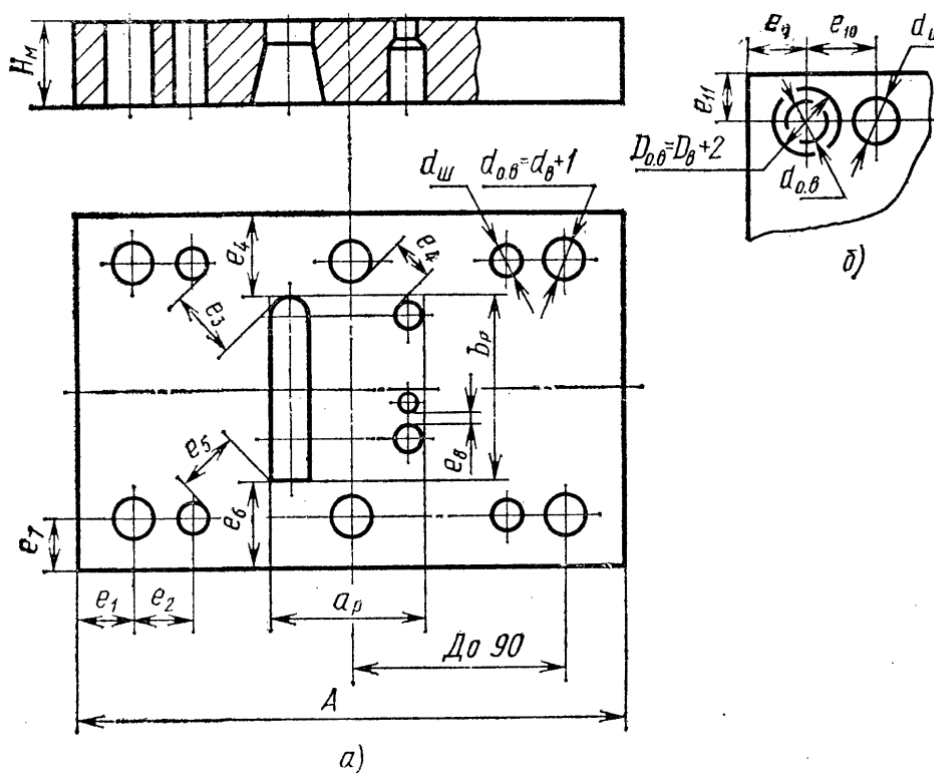


Рис. 8.3. – Схема визначення розмірів матриці

Необхідно розраховую мінімальні можливі відстані для обраного матеріалу У10А, за формулами що наведені у [1, ст.78, табл.20]:

Знаходжу мінімально можливу відстань від краю робочої зони до краю матриці за формулою:

$$e_6 = 2 * H_M \quad (8.4)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$e_6 = 2 * 12 = 24 \text{ мм}$$

Від країв робочої зони потрібно відкласти по 24 мм і тоді можна отримати довжину матриці:

$$A_M = a_p + 2 * e_6 \quad (8.5)$$

$$A_M = 14,4 + 2 * 24 = 62,4 \text{ мм}$$

та ширину:

$$B_M = b_p + 2 * e_6 \quad (8.6)$$

$$B_M = 54,4 + 2 * 24 = 102,4 \text{ мм}$$

Остаточню обираю габаритні розміри матриці: 100 x 125.

Діаметри гвинтів і штифтів для кріплення матриці до плити обираю на основі даних з [1, ст. 77, табл. 18]. Враховуючи найбільший габаритний розмір матриці, який становить 125 мм, та робоче зусилля до 500 кН, обираю гвинти М8 та штифти діаметром 6 мм.

Мінімальні відстані від краю матриці до центрів кріпильних отворів та мінімальні відстані між осями гвинта і штифта визначаю згідно до [1, ст. 77, табл. 19]. В моєму випадку:  $e_1 = 10 \text{ мм}$ ,  $e_2 = 16 \text{ мм}$  при двох гвинтах в ряду.

Форму та розмір робочого отвору матриці обираю на основі інформації з [1, ст.81, табл.22]. Приймаю другий тип отвору з глибиною ріжучої кромки  $h = 6 \text{ мм}$ ,  $\beta = 2^\circ$ ,  $\alpha = 20'$ .

Розрахуємо інші відстані, для вірного наступного конструювання матриці [2, ст.77, табл. 20], [2, ст.77]:

$$e_3 = 0,8d_{o.b.} = 0,8 * 8 = 6,4 \quad (8.7)$$

$$e_4 = 1,2H_M = 1,2 * 12 = 14,4 \quad (8.8)$$

$$e_5 = d_{o.b.} = d_b + 1 = 8 + 1 = 9 \quad (8.9)$$

$$e_7 = 1,4d_{o.b.} = 1,4 * 9 = 12,6 \quad (8.10)$$

$$e_8 = 2s = 2 * 0,5 = 1 \quad (8.11)$$

$$e_9 = e_1 + \frac{D_{o.b.} - d_{o.b.}}{2} = 10 + \frac{15 - 9}{2} = 13 \quad (8.12)$$

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$e_{10} = e_2 + \frac{D_{o.B.} - d_{o.B.}}{2} = 16 + \frac{15 - 9}{2} = 19 \quad (8.13)$$

$$e_{11} = e_7 + \frac{D_{o.B.} - d_{o.B.}}{2} = 12,6 + \frac{15 - 9}{2} = 15,6 \quad (8.14)$$

$$D_{Г.В.} = 13 + 2 = 15 \quad (8.15)$$

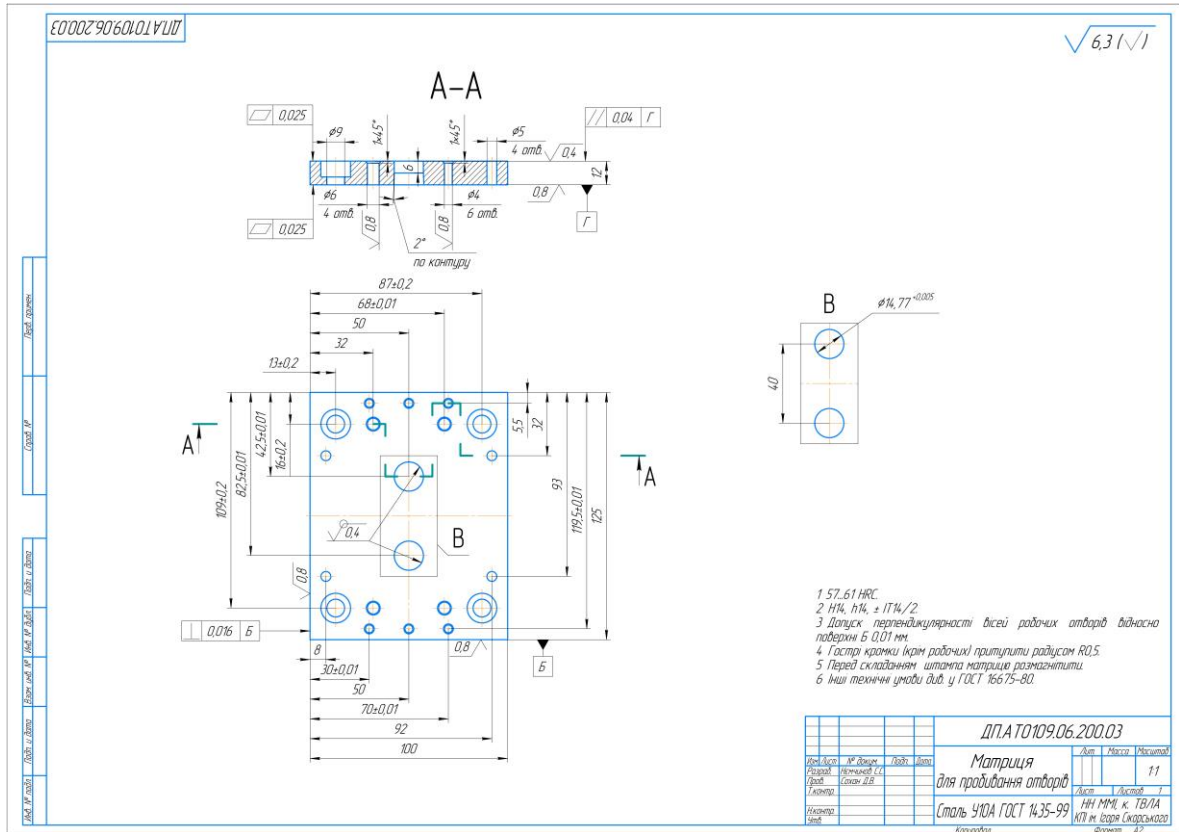


Рис. 8.4. – Креслення матриці

### 8.2.2. Виконавчі розміри матриці і пуансона

Допуск на виготовлення деталі встановлюється по 14-му квалітету. Матриця та пуансон виготовляються роздільно. За параметром товщина матеріалу ( $s=0,5$  мм) обираю з таблиці оптимальний двосторонній зазор:  $z_{\text{опт}} = 0,020$ ;  $\Delta z = +0,010$  [1, ст. 67, табл. 14 ].

- Розмір  $\varnothing 14,4H14(+0,43)$  – отримують пробиванням, основний інструмент пуансон, розмір зменшується. Для розміру  $\varnothing 14,4$  припуск на зношення дорівнює  $P_{\text{зн}} = 0,35$ ; а граничне відхилення номінального розміру штампованого елемента  $\Delta = 0,43$  [Рудман, ст.65, табл. 13]. Граничні відхилення матриці та пуансону [Рудман, ст.71, табл. 15]:

$$\delta_M = +0,005$$

							Арк.
							32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ		

$$\delta_{\Pi} = -0,005$$

Виконавчі розміри матриці та пуансону знаходжу за формулами [1, ст.62, табл. 12]:

$$L_{\text{м}} = (L_{\text{н}} + \Pi_{\text{зн}} + z)^{+\delta_{\text{м}}} \quad (8.16)$$

$$L_{\text{п}} = (L_{\text{н}} + \Pi_{\text{зн}})_{-\delta_{\text{п}}} \quad (8.17)$$

Де:

- $L_{\text{н}}$  – номінальний розмір, [мм];
- $\Pi_{\text{зн}}$  – припуск на зношення, [мм];
- $z$  – оптимальний двосторонній зазор, [мм];
- $\delta_{\text{м}}$  – граничне відхилення матриці, [мм];
- $\delta_{\text{п}}$  – граничне відхилення пуансону, [мм];

Підставимо значення до формул, і отримаємо вираз:

$$L_{\text{м}} = (L_{\text{н}} + \Pi_{\text{зн}} + z)^{+\delta_{\text{м}}} = (14,4 + 0,35 + 0,020)^{+0,005} = 14,77^{+0,005}$$

$$L_{\text{п}} = (L_{\text{н}} + \Pi_{\text{зн}})_{-\delta_{\text{п}}} = (14,4 + 0,35)_{-0,005} = 14,75_{-0,005}$$

### 8.2.3. Розрахунок інших деталей штампа

#### 8.2.3.1. Пуансонотримач

Габаритні розміри пуансонотримача і його товщина такі ж самі, як у матриці. У пуансонотримачі є отвори під штифти і гвинти.

#### 8.2.3.2. Довжина пуансонів

Висота пуансонів на пробивання отворів складається з висоти пуансонотримача, висоти направляючих планок і необхідного зазору у 25 мм за технікою безпеки.

Знаходимо висоту пуансона за формулою:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{пт}} + H_{\text{нп}} + H_{\text{з}} \quad (8.18)$$

Де:

- $H_{\text{пт}}$  – висота пуансонотримача, [мм];
- $H_{\text{ф}}$  – висота фіксаторів, [мм];
- $H_{\text{з}}$  – зазор з техніки безпеки, [мм];

Тоді висота пуансона:

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$H_{\Pi} = H_{\Pi T} + H_{\Phi} + H_3 = 12 + 10 + 25 = 47 \text{ мм}$$

Згідно до стандартів ГОСТ 16621-80 приймаємо мінімальну висоту пуансона 63 мм для пробивання отвору діаметром 14,4 мм.

Необхідно виконати перевірку пуансонів.

Перевіримо пуансони для пробивки отворів на стискування за формулою [1, с.57]:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{P_{\text{пр}}}{F} \leq [\sigma]_{\text{см}} \quad (8.19)$$

Де:

–  $P_{\text{пр}} = 4900$  – зусилля, що докладене до пуансона, [Н];

–  $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 14,75^2}{4} = 170,87$  – найменша площа поперечного

перетину пуансона, [мм<sup>2</sup>];

–  $[\sigma]_{\text{ст}}$  – допустимі напруження на стискання, [МПа]; (для інструментальних сталей при твердості HRCэ 56...60  $[\sigma]_{\text{ст}} = 1000 \dots 1600$  МПа.

Виконаємо перевірку:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4900}{170,87} = 28,67 \leq [\sigma]_{\text{см}}$$

Умова виконується.

Також необхідно виконати перевірку пуансонів на подовжній згин, виконаємо її за формулою [1, с.57]:

$$l \leq \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{n \cdot P_{\text{пр}}}} \quad (8.20)$$

Де:

–  $n$  – коефіцієнт запасу (для загартованої сталі  $n = 2 \dots 3$ );

–  $J$  – момент інерції перетину, [мм<sup>4</sup>];

–  $P_{\text{пр}} = 4900$  – зусилля, прикладене до пуансона, [Н];

–  $E = 2,2 \cdot 10^5$  – модуль пружності для сталі, [МПа];

Момент інерції перерізу пуансона, визначаємо за формулою:

$$J_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 14,75^4}{64} = 2323 \text{ мм}^4 \quad (8.21)$$

Виконаємо перевірку:

$$l_1 = 49 \leq \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,2 \cdot 10^5 \cdot 2323}{2 \cdot 4900}} = 717 \text{ мм}$$

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Умова виконується.

Перевірка опорних поверхонь пуансонів на зминання за формулою [1, с.57]:

$$\sigma_{зм} = \frac{P_{пр}}{F_k} \leq [\sigma]_{зм} \quad (8.22)$$

Де:

–  $F_k = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 314$  – площа контакту опорної поверхні

пуансона, [мм<sup>2</sup>];

–  $P_{пр} = 4900$  – зусилля, прикладене до пуансона, [Н];

–  $[\sigma]_{зм} = 80 \dots 90$  – допустимі напруження на зминання матеріалу чавунної верхньої плити, [МПа];

Виконаємо перевірку:

$$\sigma_{зм1} = \frac{4900}{314} = 15,6 \leq [\sigma]_{зм}$$

Умова виконується.

### 8.2.3.3. Трафарети

Фіксування заготовки відбувається двома П-подібними трафаретами, що розташовані по двом сторонам штампу. Висоту фіксаторів конструктивно підбираємо з висоти попередньо відформованої заготовки, а саме 10 мм.

### 8.2.3.4. Підкладна плита

У верхній плиті штампа передбачено отвір під хвостовик, тому для забезпечення надійності використовуємо сталю підкладну плиту товщиною 6 мм.

### 8.2.4. Штамповий блок

Щоб забезпечити точне співпадіння робочих частин верхньої частини штампу з робочими частинами низу штампу, використовую блок з направляючими колонками та втулками. Для штампування деталі обираю блок з розміщенням колонок з однієї сторони, через ручну подачу і відкритий доступ до робочої зони.

Використовую ступінчаті колонки та втулки, які з'єднують з верхньою і нижньою плитами по системі отвору.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

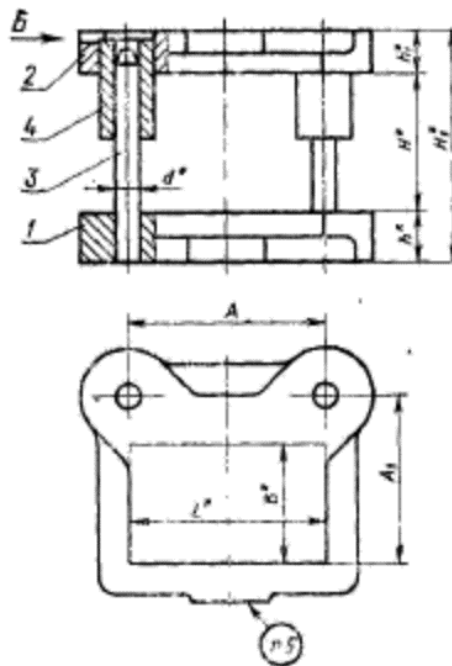


Рис. 8.5. – Схема блоку штампа з заднім розміщенням колонок.

За ГОСТ 13125-83 в залежності від раніше обраних розмірів матриці (125x100) обираю розміри блоку. Номер обраного блоку: 1004-4364. Мінімальна відстань в цьому блоці між верхньою площиною нижньої плити та нижньою площиною верхньої плити плитою дорівнює 80 мм, а максимальна 95 мм.

- З ГОСТ 13112-83 нижня плита – 1022-4462;
- З ГОСТ 13112-83 верхня плита – 1022-4461;
- З ГОСТ 13118-83 колонки – 1030-6045;
- З ГОСТ 13120-83 втулки – 1032-2643;

Товщина нижньої плити штампу перевіряється на жорсткість по формулі:

$$H_{\text{пл}} \geq \sqrt[3]{\frac{48h_{\text{min}}}{zEB} * P_3 * \left( \frac{(A-L)^2}{4} - \frac{1}{6 * (A-L)} \right)} \quad (8.23)$$

Де:

- $h_{\text{min}} = 78$  мм – відстань між нижньою площиною верхньої плити і верхньою площиною нижньої плити штампу при його закритому положенні (висота пакету);
- $z = 0,02$  – зазор між пуансоном і матрицею, в межах якого може відбуватися перекис пуансона відносно матриці, [мм];

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ

Арк.

36

- $E = 1,1 \cdot 10^5$  – модуль пружності матеріалу плити (Чавун СЧ 25 по ГОСТ 1412-85), [МПа];
- $B = 215$  – ширина плити (менший розмір), [мм];
- $P_3$  – зусилля затягування болтів, якими плита кріпиться до столу преса, [Н];
- $A = 218$  – довжина нижньої плити, [мм]
- $d = 130$  – діаметр провального отвору в підштамповій плиті, [мм];
- $L = 125$  – відстань між направляючими колонками, [мм];

Зусилля затягування болтів [1, стр.56]:

$$P_3 = \frac{3Pd^2}{8a \cdot (3d + 2a)} \quad (8.24)$$

Де:

- $P = 4900$  – зусилля для виконання операції, [Н];
- $a = \frac{A-d}{2} = \frac{218-15}{2} = 101,5$  мм
- $d = 15$  – діаметр отворів під головки гвинтів, [мм];

$$P_3 = \frac{3 \cdot 4900 \cdot 15^2}{8 \cdot 101,5 \cdot (3 \cdot 15 + 2 \cdot 101,5)} = 16,4 \text{ Н}$$

Виконаємо перевірку товщини нижньої плити штампа на жорсткість:

$$H_{\text{пл}} \geq \sqrt[3]{\frac{48 \cdot 78}{0,02 \cdot 1,1 \cdot 10^5 \cdot 215} \cdot 16,4 \cdot \left( \frac{(218 - 125)^2}{4} - \frac{1}{6 \cdot (218 - 125)} \right)}$$

$$H_{\text{пл}} \geq 6,54 \text{ мм}$$

Товщина обраної нижньої плити становить 50 мм, що перевищує мінімальну товщину. Було обрану жорстку плиту.

### 8.2.4.1. Конструкція штампу

Для збільшення стійкості штампа необхідно розподілити напруження, що виникають на пуансонах. Тому встановлюю сталю підкладну плитку. Її товщина буде 8 мм.

Конструкція штампа складається з нижньої (1) і верхньої (2) плит, які направляються втулками (9) та колонками (8), між плитами розташований

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

штамповий пакет, він складається з: матриці (3), пуансонів (5), пуансонотримача (4), підкладної плити (7), вона кріпиться разом із пуансонотримачем до верхньої плити штифтами (15) і гвинтами (12). Матриця і фіксатори (6) кріпляться до нижньої плити гвинтами (10) та штифтами (13). Пуансони встановлені в пуансонотримач. За допомогою хвостовика (16), верхня плита приєднується до повзуна преса по перехідній посадці.

#### 8.2.4.2. Робота штампу

В верхньому положенні повзуна преса пуансон знаходиться над робочою зоною. Попередньо відформована заготовка вставляється робітником за допомогою пінцета між фіксаторів, які фіксують заготовку. Під час робочого ходу, хвостовик, верхня плита та верхня частина штампового пакету рухаються вниз. Відбувається пробивання отворів в заготовці. Після чого працівник забирає заготовку пінцетом з робочого простору і ставить на її місце нову заготовку.

#### 8.2.5. Вибір обладнання

Згідно з попереднім розрахунком, для штампування зусиллям 6,37 кН обрано прес КД2122 [3]. Основні характеристики цього пресу: номінальне зусилля 160 кН, закрита висота 220 мм, габаритні розміри стола 420x280 мм, та провальний отвір стола діаметром 110 мм.

Габаритні розміри мого штампу 218x215 мм, закрита висота пакету штампа 173 мм. Крім того, до пакету штампа підходить провальний отвір діаметром 110 мм, що означає можливість установки нашого штампу на вказаний прес.

Проводжу перевірочний розрахунок закритої висоти штампу для вирубування та пробивання.

При номінальній закритій висоті на стіл преса може бути встановлений штамп з найбільшою висотою [3, ст. 22]:

$$H_{max} = H - H_{пл} + \frac{(h_{max} - h_{min})}{2} \quad (8.25)$$

Де:

- $H = 220$  – закрита висота пресу, [мм];
- $H_{пл} = 40$  – товщина підштампової плити, [мм];

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

–  $h_{max} = 55$ ,  $h_{min} = 5$  – відповідно величини найбільшого і найменшого ходів, [мм];

$$H_{max} = 220 - 40 + \frac{(55 - 5)}{2} = 205 \text{ мм}$$

При номінальній закритій висоті на стіл преса може бути встановлений штамп з найменшою висотою:

$$H_{min} = H - H_{пл} - \Delta_{шт} \quad (8.26)$$

Де  $\Delta_{шт} = 45$  – величина регулювання положення за рахунок розгвинчування гвинта шатуна (регулювання закритої висоти пресу), [мм];

$$H_{min} = 200 - 40 - 45 = 105 \text{ мм}$$

Закрита висота штамп (в нижньому робочому положенні)  $H_{шт}$  повинна знаходитись між найбільшою  $H_{max}$  і найменшою  $H_{min}$  закритою висотою пресу.

$$H_{min} \leq H_{шт} \leq H_{max} = 105 \text{ мм} \leq H_{шт} \leq 205 \text{ мм} = 173 \leq 205 \text{ мм}$$

Отже, закрита висота штамп менша за максимально можливу закриту висоту пресу. Тоді конструктивно прийнята закрита висота штамп для вирубування та пробивання 173 мм задовольняє умови, штамп може бути встановлений на вибраний прес КД2122.

Знаючи прес на який буде встановлений штамп, можна вибрати хвостовик під прес. Діаметр хвостовика рівний діаметру отвору в повзуні,  $D_{хв} = d_{пз} = 40$  мм.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 9. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПУ ДЛЯ ВІДБОРТОВКИ ОТВОРІВ

Штамп для відбортовки отворів, як і для операції листової формовки заготовки необхідно надрукувати методом 3D друку. Конструювання штампа відбувається таким ж самим шляхом, з врахуванням специфіки технології друку та матеріалу, що буде застосовуватись для виготовлення інструментів. Для початку створення моделі необхідно врахувати зусилля формовки, щоб спроектувати інструмент необхідної міцності. Розрахунок зусилля наведено в розділі нижче.

### 9.1. Розрахунок технологічних параметрів для круглих отворів

Перевіримо чи можливе відбортування отвору діаметром 14,4 мм за один перехід при відношенні  $d_0$  і  $D_0$  по коефіцієнту відбортовки, що розраховується за формулою [1, ст.319]:

$$K_{\text{відб}} = \frac{d_0}{D_0} \quad (9.1)$$
$$K_{\text{відб}} = \frac{14,4}{20,49} = 0,7$$

Де:

- $d_0$  – діаметр початкового отвору, [мм];
- $D_0$  – діаметр відбортованого отвору, [мм];

Знайдемо граничний коефіцієнт відбортовки, що розраховується аналітично по формулі [1, ст. 319]:

$$K_{\text{відб}}^{\text{гран}} = \frac{1}{1 + \delta/100} \eta_{\text{відб}} \quad (9.2)$$

Де:

- $\delta = 8$  – відносне подовження матеріалу;
- $\eta_{\text{відб}} = 0,75$  – коефіцієнт що визначається типом відбортовки;

$$K_{\text{відб}}^{\text{гран}} = \frac{1}{1 + 8/100} 0,87$$

В нашому випадку граничне значення коефіцієнту відбортовки більше за розраховане, тому відбортування отвору можливе в один прохід.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

### 9.1.1. Розрахунок зусилля відбортовування отворів

Знайдемо зусилля, що необхідне для відбортовування круглих отворів пуансоном [1, ст. 322]:

$$P_B = 1,1\pi S\sigma_B(D - d) \quad (9.3)$$

$$P_B = 1,1 * \pi * 0,5 * 147(20,49 - 14,4) = 1546,9 \text{ Н}$$

Де:

- $S$  – товщина деталі, [мм];
- $\sigma_B$  – межа міцності матеріалу, [МПа];
- $D$  – діаметр відбортовування, [мм];
- $d$  – діаметр отвору, [мм];

Через те що нам необхідно виконати відбортовування для двох отворів, то отримане зусилля необхідно помножити на два. Остаточне зусилля для відбортовки:  $P_B = 3093,8 \text{ Н}$ , або  $3,09 \text{ кН}$ .

## 9.2. Конструкторський розділ

Через дуже малі розміри деталі, як і в штампі для формовки заготовки, пуансон та матриця повторюють поверхню готової деталі. Зміна величини заокруглень, чи інших параметрів вплине на процеси листової формовки, та призведе до зміни форми деталі.

Пуансон для відбортовки отворів деталі майже повторює своєю геометрією пуансон для формовки заготовки, але при цьому має деякі відмінності. До виступу додалися два циліндра з заокругленням 10 мм на кінцях, і 3 мм при основі. Циліндр умовно поділений на дві частини, і одна з них має кут 10 градусів відповідно до креслення деталі. Звичайна конструкція пуансона з 60 градусами при основі робить штамп доволі високим, що погіршує його стійкість і збільшує кількість затраченого матеріалу, тому було обрано саме таку форму інструментів. Матриця для відбортовки також схожа на матрицю для формовки, але має два глухих отвори для розміщення в них пуансона. Ці отвори з'єднуються з впадиною матриці заокругленням по ребру радіусом 3 мм, і мають радіус заокруглення 10 мм на кінці.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

При врахуванні друку моделей для відбортовки було враховано попередні недоліки інструментів, тому для кращої якості друку інструментів було зроблено заокруглення на ребрах моделі, це зупиняє розшаровування слоїв при їх пошаровому нанесенні.

Фіксація заготовки у третьому штампі здійснюється за допомогою відформованого денця, і фланців, що впираються в виступи матриці. Для створення інструменту також скористаємося загальними правилами, що наведені у літературі [1, ст. 229], [2, ст. 179]. Конструювання моделі відбувалось у програмі SolidWorks 3D. Нижче дані рисунки, на яких наведено зображення готових моделей.

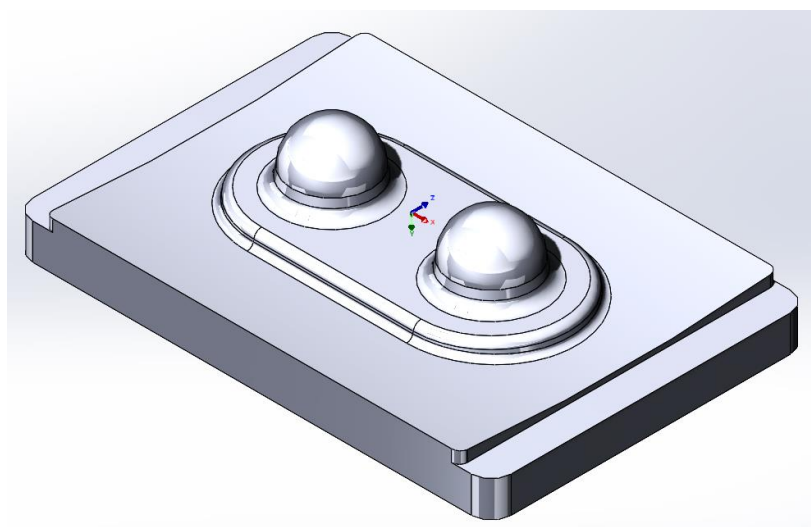


Рис. 9.1. – Модель пуансона

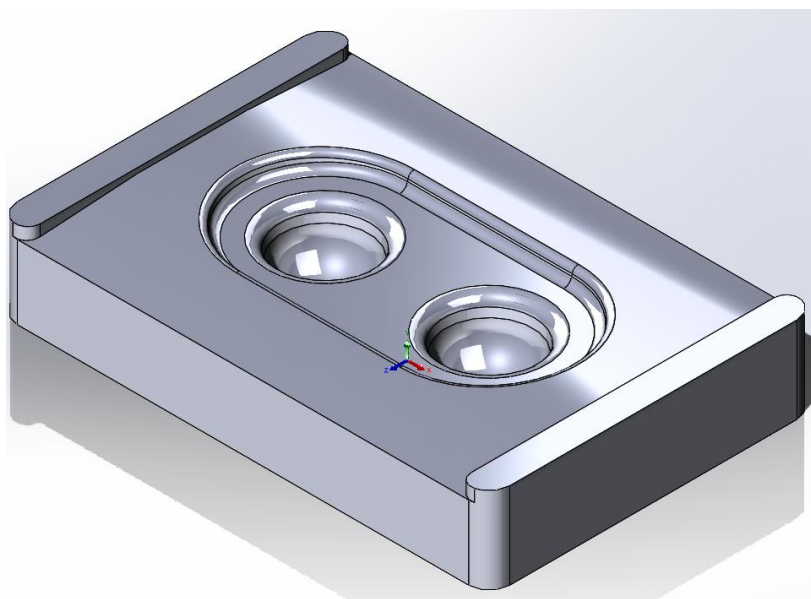


Рис. 9.2. – Модель матриці

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

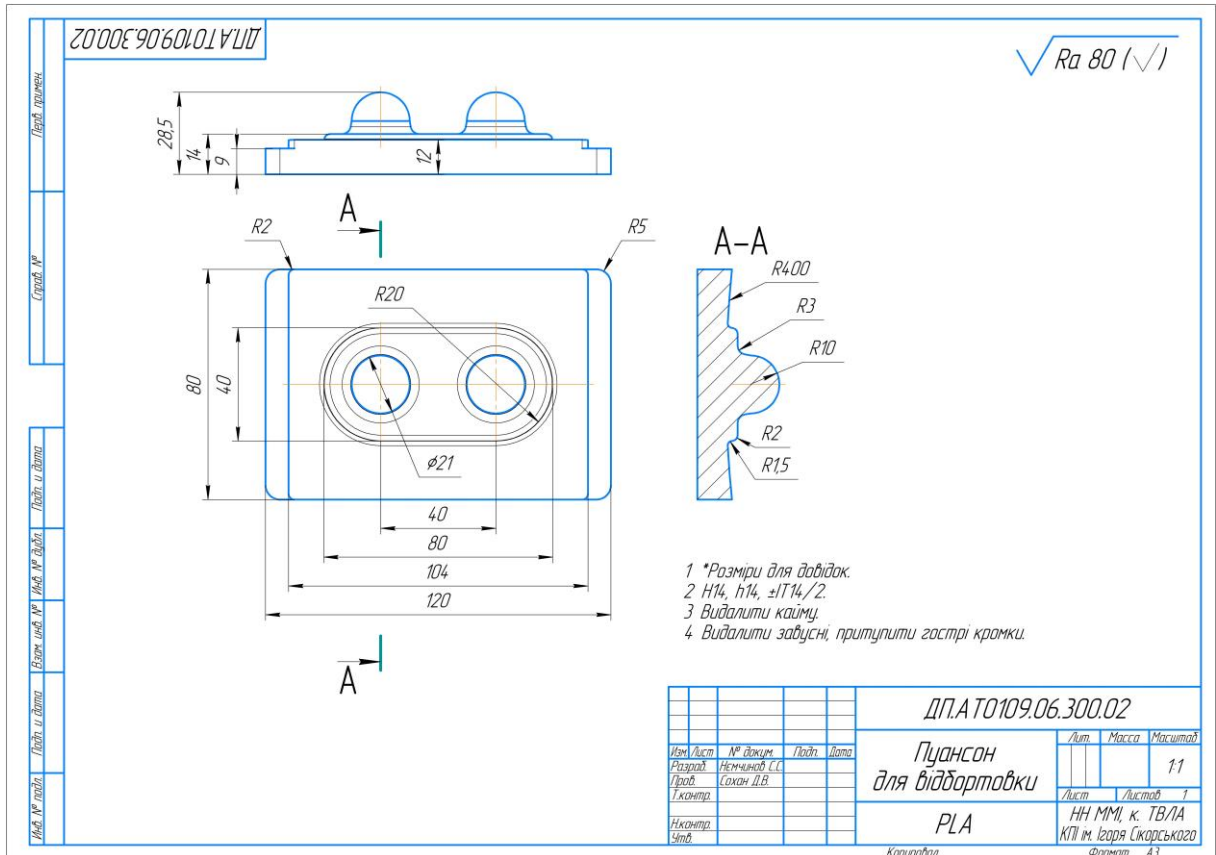


Рис. 9.3. – Креслення пунсона

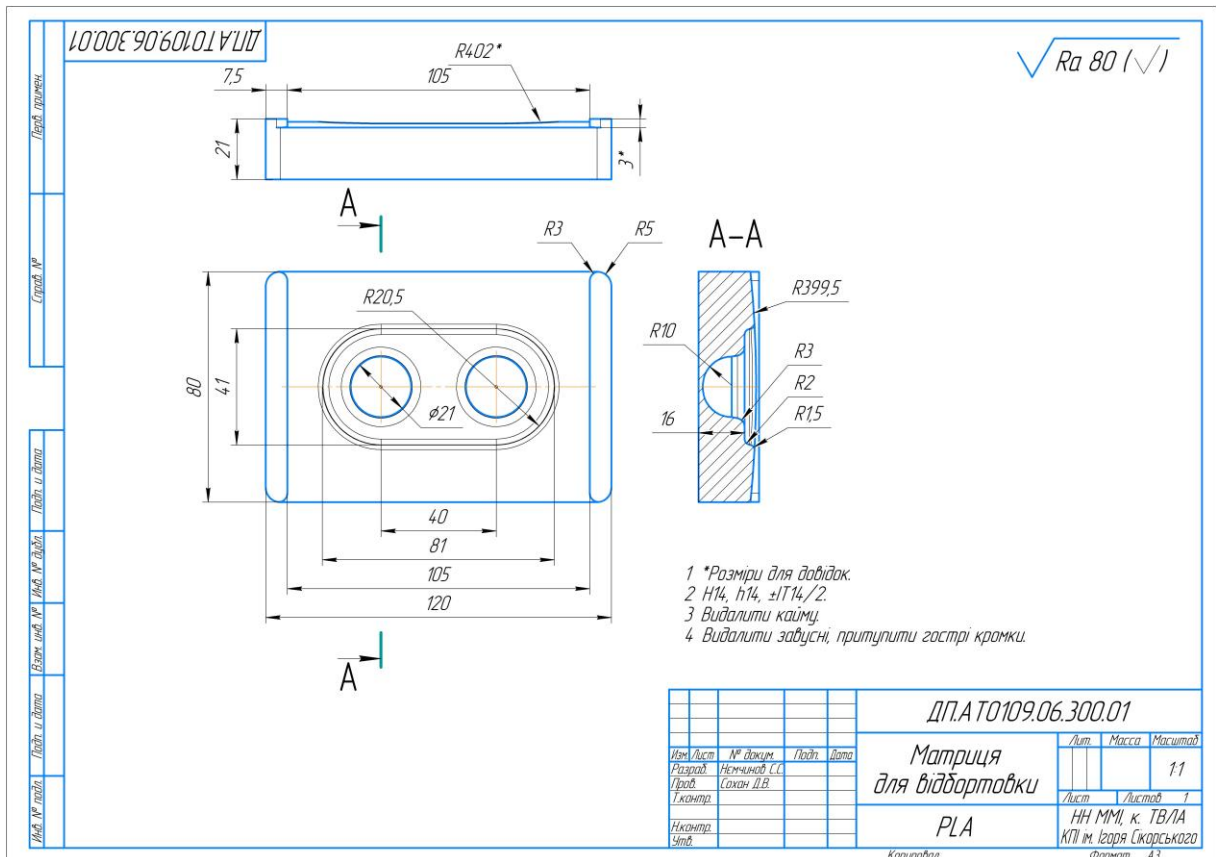


Рис. 9.4. – Креслення матриці

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 9.2.1. Конструкція штампу

Через відсутність фіксації пакету штампа, його конструкція також є відносно простою і складається тільки з матриці (1), і пуансона (2).

### 9.2.2. Робота штампу

На початку роботи матриця вкладається на станину, після чого на матрицю вкладається алюмінієвий напівфабрикат, на який вкладається пуансон що притискається штоком гідроциліндра. Під час робочого ходу шток гідроциліндру притискає пуансон до заготовки і матриці, відбувається процес відбортовки отворів. Після чого працівник в ручну забирає заготовку знімаючи пуансон. Для повторення операції необхідно вкласти заготовку і покласти на неї пуансон.

### 9.2.3. Вибір обладнання

В нашому випадку, розрахункове зусилля для виконання цієї операції становить 171 Н. Це досить незначне зусилля порівняно з іншими механічними процесами, що дозволяє використовувати відносно просте і доступне обладнання для її виконання. Тому для відбортовки як і для процесу формовки обираю наявний пневмогідролічний прес, що знаходиться в лабораторії, а саме TORIN TY50001 зусиллям 50 тонн, що значно перевищує необхідне для нашої операції.

Основні характеристики пресу TORIN TY50001		
Довжина ходу штока	175	мм
Клапан обмеження тиску	Так	
Максимальна робоча висота	890	мм
Максимальне зусилля	50	т
Манометр	Так	
Відстань між стійками	650	мм

Таблиця 9.1. – Характеристики обраного пресу

## 10. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИТЯЖКИ І ГНУТТЯ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ DEFORM-3D

Для моделювання процесів використовувалась програма DEFORM-3D. Це програмне середовище дозволяє побачити приблизні результати технологічних процесів деформування металу.

Дослідження деформованого стану металу при формуванні є досить складним завданням для моделювання з використанням скінченно-елементних систем моделювання процесів, одним з яких є Deform 3D. Проблема виникає через невід'ємні обмеження алгоритму кінцевих елементів, а саме потребу у великій кількості скінченних елементів для точного моделювання процесу формування листового металу.

Для проведення симуляції обробки металу тиском в програмі Solid Works було створено моделі інструментів, що були імпортовані в Deform 3D в якості пуансона і матриці. Інструментам задано тип абсолютно твердого тіла, а для заготовки тип тіла обрано як пластичне. Для заготовки створено сітку з мінімальним розміром елемента 0,5 мм, сітка з такими налаштуваннями нараховує 53314 елементів для першого процесу і 167143 елементів для другого процесу. Пуансону задано постійну швидкість 10 мм/с, і також для більшої точності задано зупинку моделювання після переміщення пуансону на деяку відстань. Для уникнення проковзування заготовки в штампі та відсутності колізії між інструментами і заготовкою, було створено взаємозв'язок між деталями, та задано тертя по шорі зі значенням 0,4, що є стандартним для алюмінію.

Для двох моделювань налаштування процесів є майже однаковими, зі зміною деяких параметрів що залежать від конструкції штампі і розташування заготовки у ньому. Нижче наведено результати моделювання спочатку формовки заготовки, а потім проведення відборткування отворів.

### 10.1. Результати моделювання витяжки і гнуття

В результаті опрацювання операції листової формовки ми отримали такі максимальні значення величин: інтенсивність деформації – (0,575), інтенсивність

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

напруження – (123 МПа), критерій руйнування – (0,408), максимальне зусилля на пуансоні – (12800 Н), і на матриці також – (12700 Н).

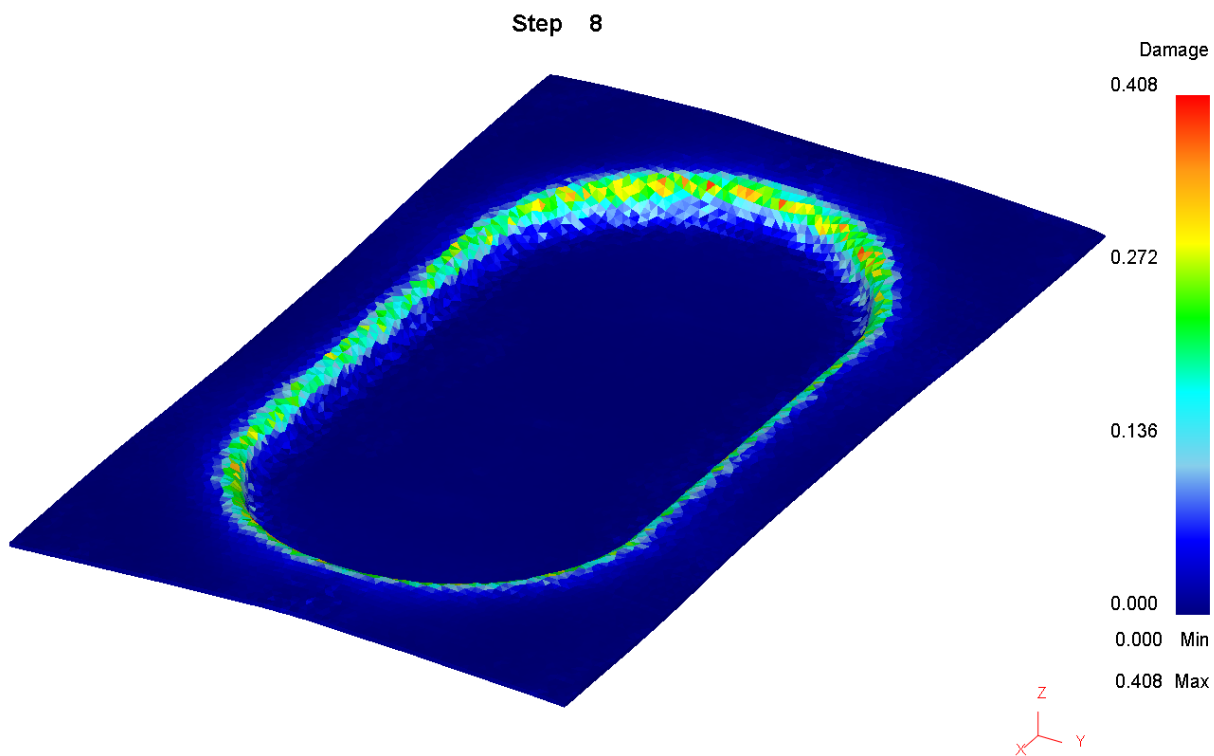


Рис. 10.1. – Змінна Damage

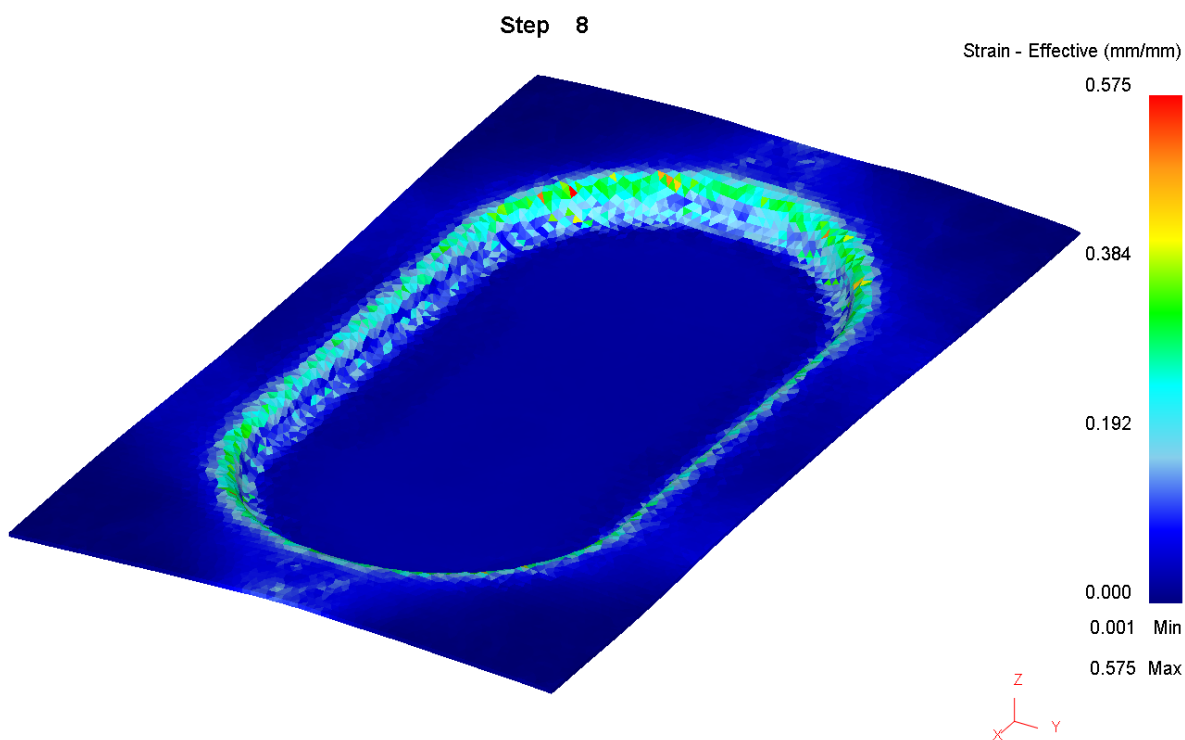


Рис. 10.2. – Змінна Strain Effective

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

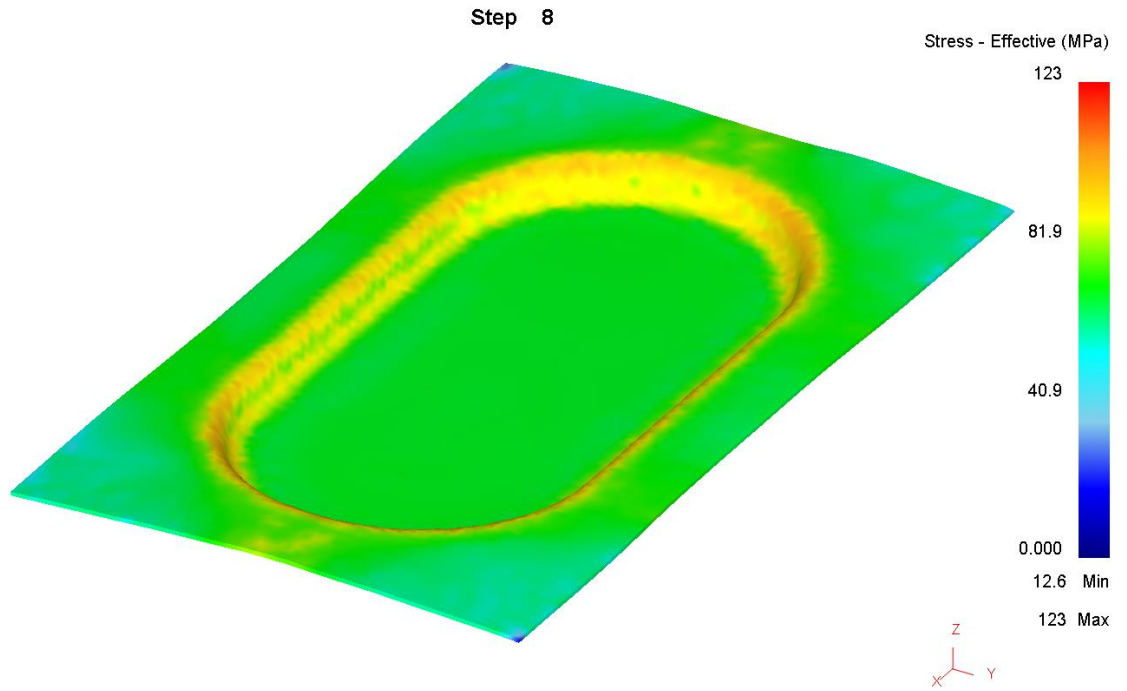


Рис. 10.3. – Змінна Stress Effective

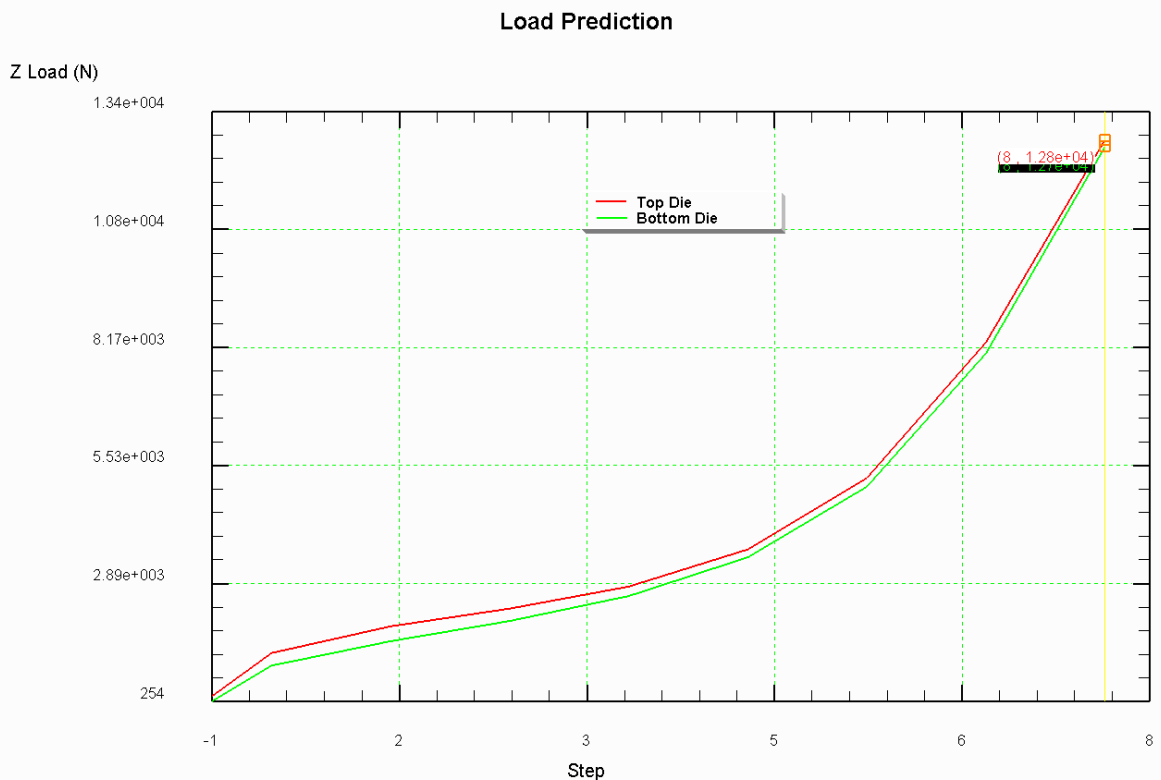


Рис. 10.4. – Значення зусилля для операції

Під час аналізу можна побачити що значення коефіцієнту руйнування досягає свого максимуму в (0,408). Однак, це значення відображає максимальне значення

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ

Арк.

47

тільки в одному вузлі сітки моделі. Найбільш небезпечною зоною буде заокруглення між фланцем і стінкою заготовки, де діють максимальні напруження. В цьому місці коефіцієнт руйнування має величину не більше (0,272). Таке значення коефіцієнту руйнування не перевищує прийняте значення (0,6), тому руйнування заготовки не відбудеться.

Зусилля на пуансоні при моделюванні становить (12,8 кН), і відрізняється від раніше розрахованого (55,9 кН) у 4,36 разів. Це можна пояснити тим що для розрахунку використовується формула в якій враховано зусилля калібрування заготовки, чого немає в комп'ютерному моделюванні через налаштування зупинки процесу.

## 10.2. Результати моделювання відбортовки отворів

Аналізуючи графічну частину операції відбортовки отворів ми отримали такі максимальні значення величин: інтенсивність деформації – (0,565), інтенсивність напруження – (121 МПа), критерій руйнування – (0,479), максимальне зусилля на пуансоні – (1480 Н), на матриці – (1110 Н).

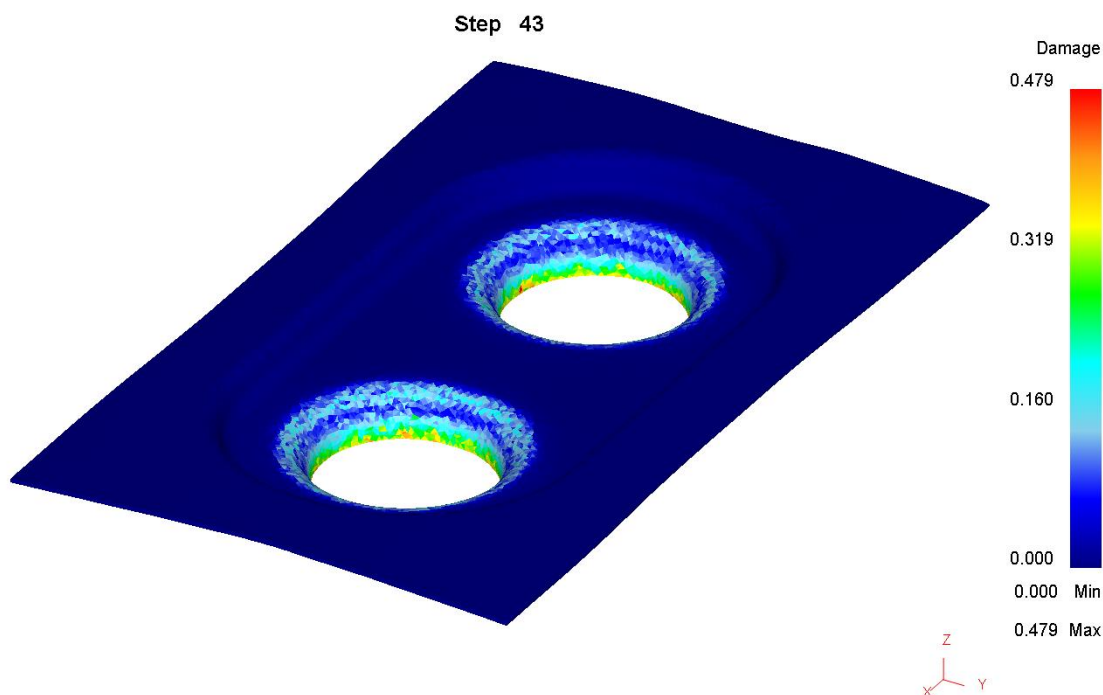


Рис. 10.5. – Змінна Damage

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

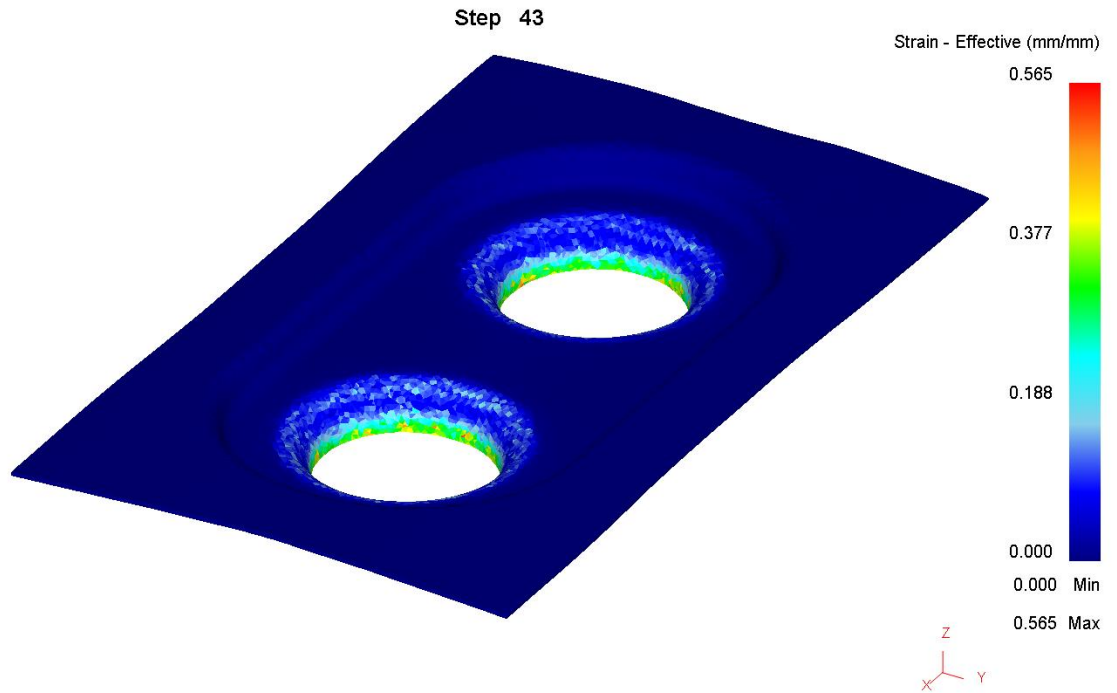


Рис. 10.6. – Змінна Strain Effective

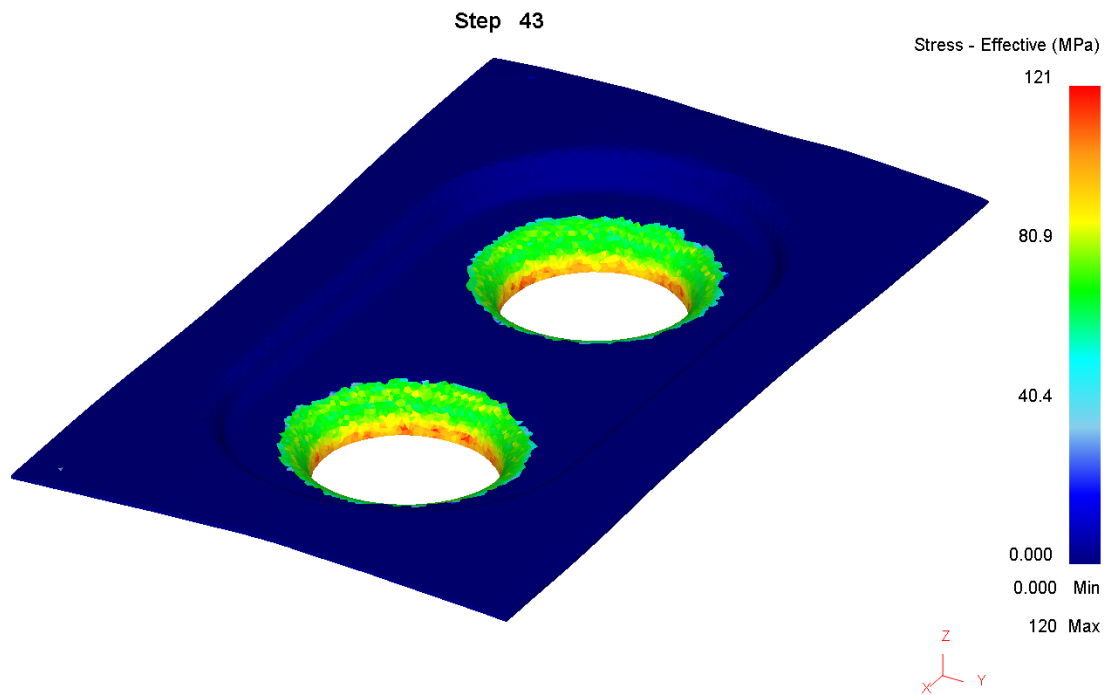


Рис. 10.7. – Змінна Stress Effective

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

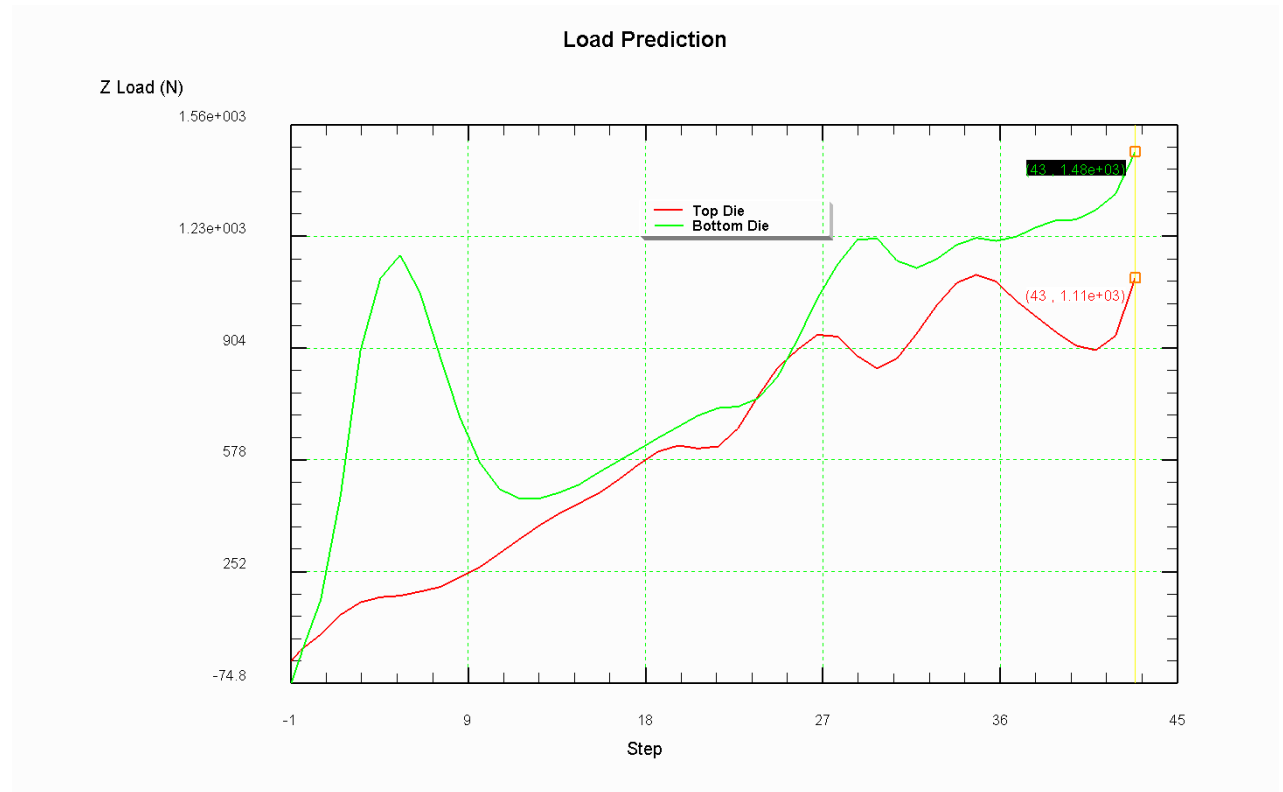


Рис. 10.8. – Значення зусилля для операції

Значення коефіцієнту руйнування досягає свого максимуму в (0,479). Однак, це значення відображає максимальне значення тільки в одному вузлі сітки моделі як і в попередньому моделюванні. Найбільш небезпечною зоною буде місце розтягу отвору заготовки, де діють максимальні напруження. В цьому місці коефіцієнт руйнування має величину не більше (0,334). Таке значення коефіцієнту руйнування не перевищує прийняте значення (0,56), тому руйнування заготовки не відбудеться.

Зусилля на пуансоні при моделюванні становить (1,48 кН), і відрізняється від раніше розрахованого (3,09 кН) у 2 рази. Цей фактор з'являється через неточність форми і розташування вузлів моделі що деформується. Також на початку моделювання можна спостерігати різке збільшення зусилля через вирівнювання заготовки відносно матриці і пуансону.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 11. НАЛАШТУВАННЯ ПРИНТЕРА ДЛЯ ДРУКУ МОДЕЛЕЙ

Налаштування друку моделі грає важливу роль в якості виготовлення кінцевої деталі. Для розрізання моделі на шари і встановлення параметрів друку використовується програмне середовище UltiMaker Cura. Завдяки використанню цієї програми можна налаштувати такі параметри як: висота шару, швидкість друку, температура екструдера і сопла, що дозволяє досить точно контролювати друк деталей.

Виготовлення моделей інструментів адитивними методами, буде виконуватись з пластику PLA. Цей пластик дуже поширений в сфері адитивного виробництва, оскільки він має низьку температуру друку та не потребує підігрівання столу. Також ще однією перевагою використання пластику PLA є відсутність неприємного запаху під час друку, чим не може похвалитись пластик ABS. Але PLA пластик менш довговічніший ніж ABS або PETG, і сприятливий до нагрівання. За можливості його не варто використовувати при виготовленні інструментів, які можуть бути зігнутими, перекрученими, або часто падати.



Рис. 11.1. – Принтер KLEMA 250

Друк моделей буде відбуватись на 3D принтері KLEMA 250. Цей принтер має поле для побудови розмірами 250x250x350 мм що дозволяє друкувати досить крупні деталі, наші деталі повністю розміщуються в цьому полі, що забезпечує друк деталей без їх ділення на частини. Завдяки повністю закритому корпусу всередині принтеру підтримується рівномірний температурний режим і в такий спосіб мінімізується ризик підриву та деформації моделі. Через наявність рейкових

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

напрямних досягається чудова якість друку і хороша деталізація моделей що будуть надруковані. Також через таку конструкцію принтер має високу точність навіть при швидкості друку 150 мм/сек. Досить широкий діапазон температур, а саме до 270 °С, дозволяє виконувати друк всіма видами пластику. Сам принтер також має металевий каркас та корпус, що зменшує шанс появи браку при друці, через більшу стійкість конструкції принтеру. І також на цьому принтері можливий друк виробів з точністю до 40 мікрон, для досягнення максимально високої деталізації моделей.

Нижче наведені таблиці з параметрами налаштувань які задавались перед друком інструментів що виготовляються адитивними методами.

Якість друку		
Висота шару	0,3	мм
Висота першого шару	0,3	мм
Ширина лінії стінки	0,4	мм
Ширина лінії дна/кришки	0,4	мм
Ширина лінії заповнення	0,4	мм
Ширина лінії кайми	0,4	мм
Ширина лінії підтримки	0,4	мм
Ширина лінії першого шару	100	%

Таблиця 11.1. – Налаштування якості друку

Налаштування стінок		
Товщина стінок	2,4	мм
Кількість ліній стінки	6	
Довжина переходу до стінки	0,4	мм
Лічильник розподілень по стінкам	1	
Пороговий кут переходу між стінками	10	°
Поле фільтру при переході між стінками	0,1	мм
Відстань очищення зовнішньої стінки	0,2	мм
Порядок стінок	Від внутрішніх к зовнішнім	

Таблиця 11.2. – Налаштування друку стінок

Налаштування дна/кришки		
Шари верхньої оболонки	0	
Товщина дна/кришки	2,4	мм
Шари дна/кришки	8	мм
Шаблон для кришки/дна	Лінії	
Нижній шаблон початкового шару	Лінії	

Таблиця 11.3. – Налаштування друку дна/кришки

Налаштування заповнення		
Густина заповнення	40	%
Дистанція заповнення	1	мм
Шаблон заповнення	Гіроїд	
Множник ліній заповнення	1	
Кількість додаткових стінок заповнення	0	
Процент перекриття заповнення	10	%
Перекриття заповнення	0,04	мм

Таблиця 11.4. – Налаштування заповнення деталі

Матеріал		
Температура сопла	210	°C
Температура друку першого шару	210	°C
Початкова температура друку	200	°C
Кінцева температура друку	195	°C
Температура стола	60	°C
Температура стола для першого шару	60	°C
Коефіцієнт масштабування для компенсування усадки	100	%
Поток	100	%

Таблиця 11.5. – Налаштування подачі матеріалу

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Налаштування охолодження		
Швидкість вентиляторів	20	%
Поріг перемикання на підвищену швидкість	10	сек.
Початкова швидкість вентилятора	0	%
Звичайна швидкість вентилятора на висоті	0,3	мм
Звичайна швидкість вентилятора на шарі	2	
Мінімальний час шару	5	сек.
Мінімальна швидкість	10	мм/с

Таблиця 11.6. – Налаштування охолодження

Налаштування швидкості друку		
Швидкість друку	60	мм/с
Швидкість заповнення	60	мм/с
Швидкість друку стінок	30	мм/с
Швидкість друку зовнішньої стінки	30	мм/с
Швидкість друку внутрішніх стінок	60	мм/с
Швидкість друку внакришки/дна	30	мм/с
Швидкість друку підтримок	60	мм/с
Швидкість заповнення підтримок	60	мм/с
Швидкість переміщення	120	мм/с

Таблиця 11.7. – Налаштування швидкості друку

Налаштування прилипання до столу		
Тип прилипання до столу	Кайма	
Мінімальна довжина кайми	250	мм
Ширина кайми	8	мм
Кількість ліній кайми	20	
Відстань до кайми	0	мм
Кайма замінює підтримку	так	
Кайма тільки ззовні	так	

Таблиця 11.8. – Налаштування прилипання моделі до столу

На початку друку моделі спочатку друкується початковий шар, розмір якого впливає на адгезію заготовки до столу на якому розміщена деталь. При збільшенні цього шару буде утворюватись добра адгезія, що краще зафіксує заготовку на робочій поверхні. При зменшенні першого шару він буде більш точнішим, але при цьому буде виникати погане прилипання деталі до робочої поверхні і збільшуватися час друку. За рекомендаціями інженерів програмного устаткування Ultimaker краще обирати розмір першого шару у 0,27 мм, у наших налаштуваннях було обрано висоту першого шару у 0,3 мм, це налаштування і наступні будуть наближеними до рекомендованих.

Після першого шару для задання ширини шарів використовується параметр ширина лінії. При збільшенні значення збільшується швидкість друку, але погіршується деталізація готової деталі, та можливі проблеми з екструзією матеріалу з сопла устаткування. При зменшенні цього значення падає швидкість друку, але стає краще деталізація деталей. За рекомендованими значеннями у 0,38 мм, в наших налаштуваннях було встановлено ширину лінії як 0,4 мм.

Для досягнення більшої міцності надрукованої деталі товщина стінок, денця і верхньої поверхні була збільшена до 2,4 мм що є оптимальним значенням. Збільшення товщини зовнішніх поверхонь збільшує міцність деталей, але робить їх виготовлення більш дорогим і зменшує швидкість друку.

Заповнення верхньої і нижньої поверхонь має високий вплив на візуальний ефект і утворення дефектів. В наших налаштуваннях було обрано лінійний візерунок, що зменшує ймовірність появи дірок в надрукованих деталях.

Щільність заповнення і його візерунок дає змогу змінювати масу і щільність моделі при збереженні необхідної жорсткості конструкції. Патерни Cura вельми численні, що дає змогу вибрати найкращий із доступних для друку нашого інструменту. В нашому випадку значення щільності заповнення було встановлено на рівні 40%, що є доволі оптимальним значенням, і обрано гіроїд як візерунок заповнення. Гіроїдне заповнення міцне, незважаючи на менші витрати часу і філаменту порівняно з іншими патернами. Великий рівень заповнення збільшує стійкість готових деталей, зменшує кількість дірок та зменшує швидкість друку,

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

при цьому уповільнюється швидкість друку та збільшується його вартість. Встановлення малого рівня заповнення змінює характеристики друку з точністю до навпаки.

Для покращення прилипання деталі і уникнення браку в її наступних шарах, на початку друку використовується кайма шириною 8 мм. Також друк кайми дозволяє досягнути пластику необхідної температури під час друку, завдяки додатковому пройденому шляху екструдера, що позитивно впливає на зовнішній вигляд моделі і її механічні характеристики.

Для більшої наглядності розташування шарів, що будуть друкуватись а також заповнення деталей, нижче буде наведено зображення з програмного забезпечення UltiMaker Cura.

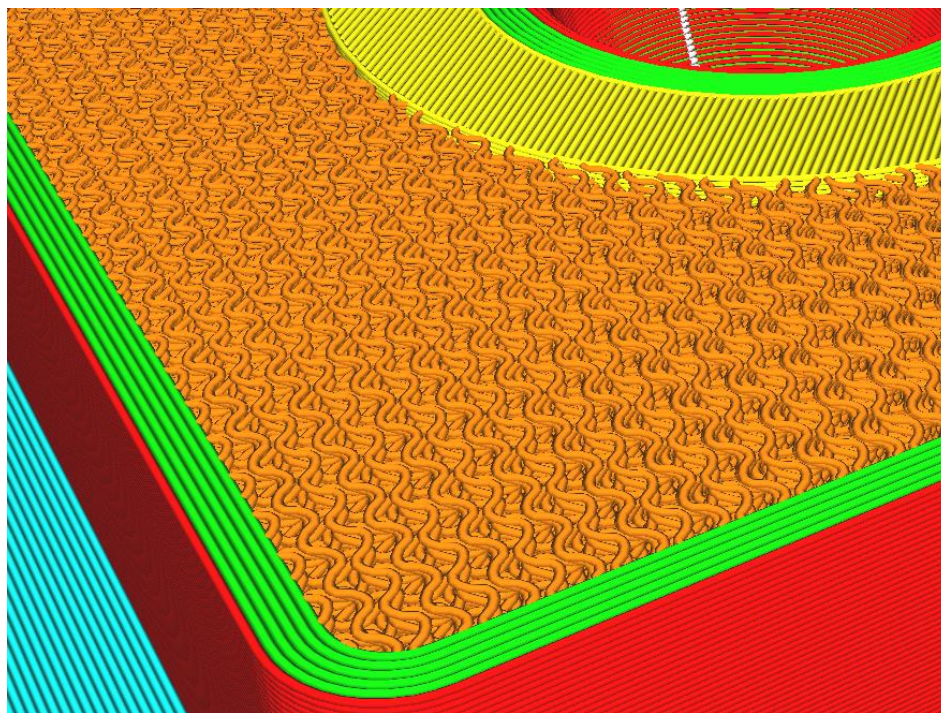


Рис. 11.2. – Внутрішнє заповнення деталей

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

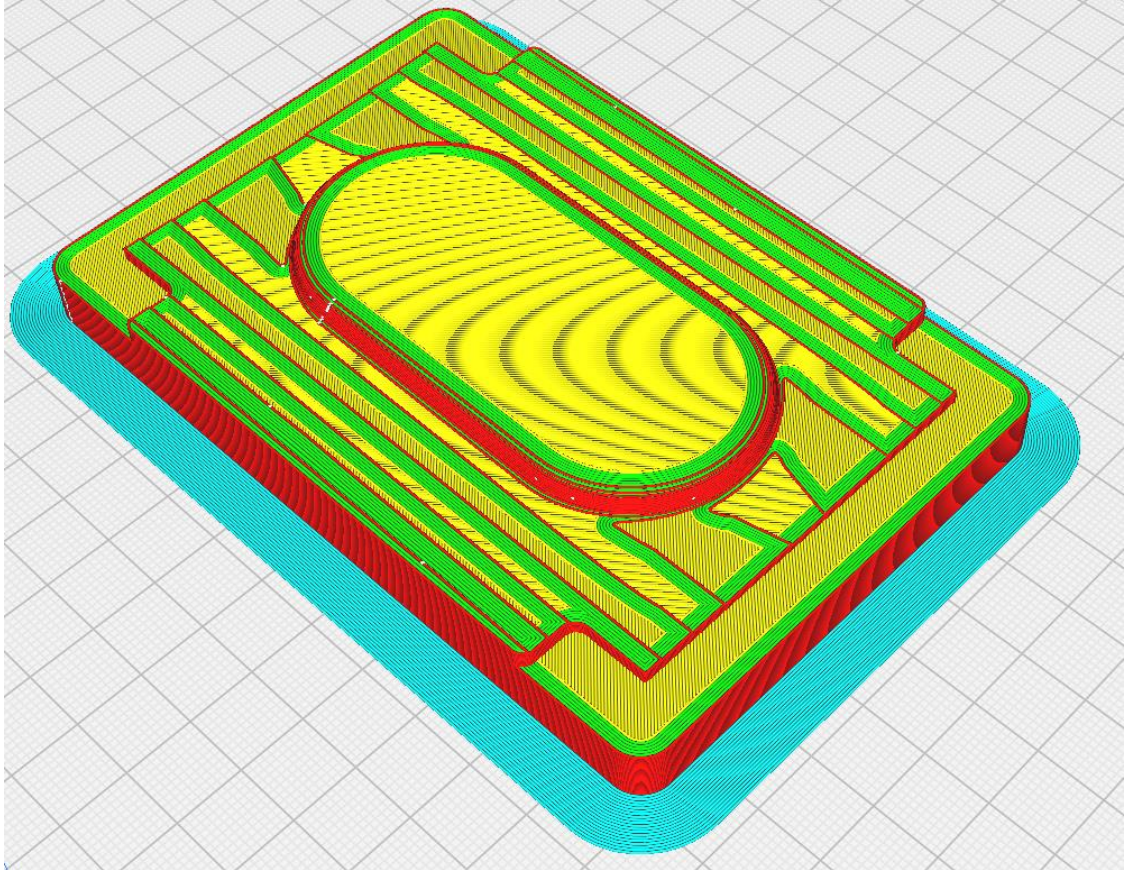


Рис. 11.3. – Розрізана на шари модель пунсону для формовки

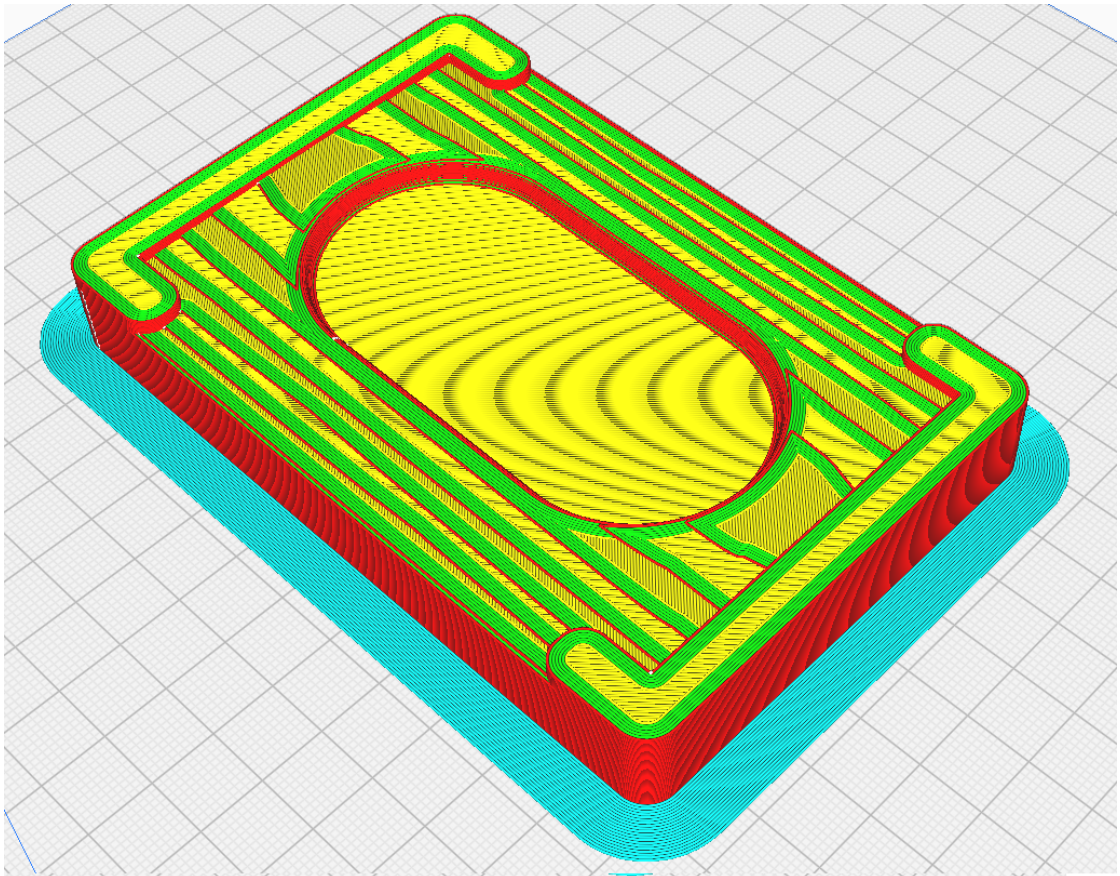


Рис. 11.4. – Розрізана на шари модель матриці для формовки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ

Арк.

57

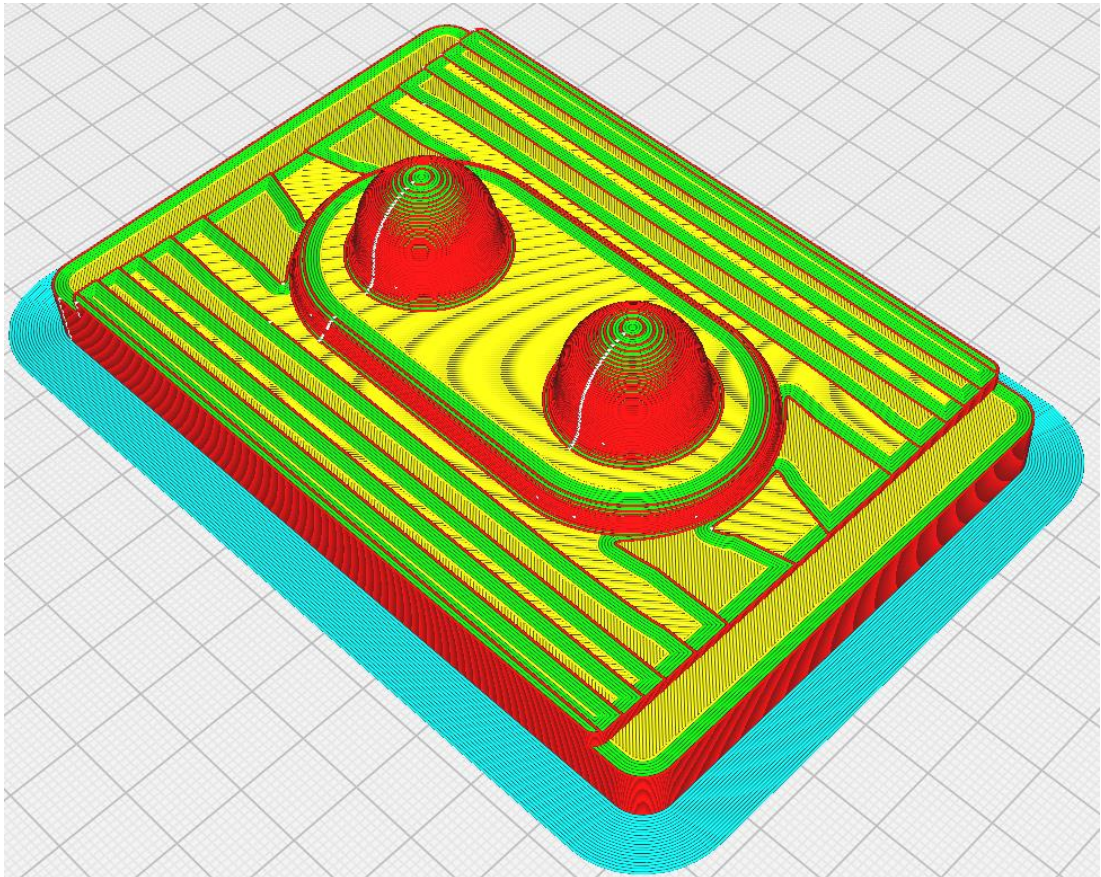


Рис. 11.5. – Розрізана на шари модель пунсону для відбортовки

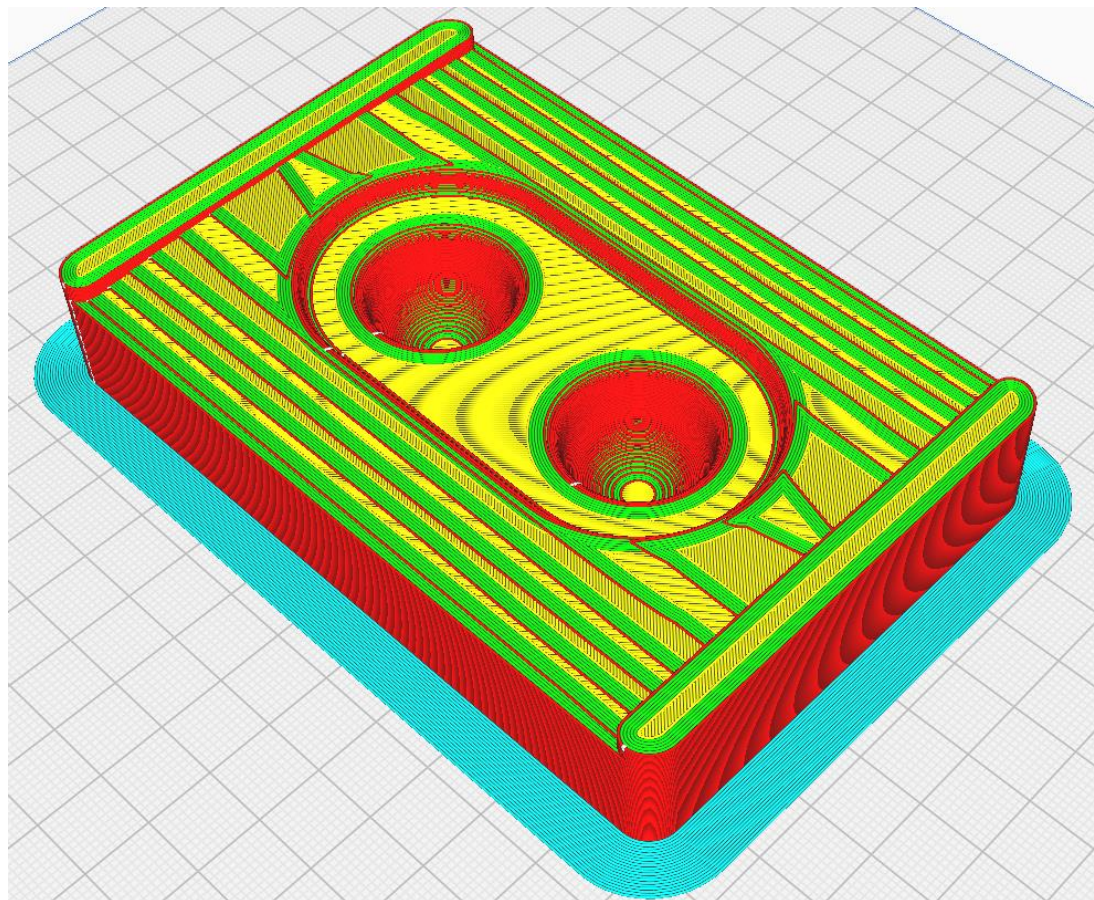


Рис. 11.6. – Розрізана на шари модель матриці для відбортовки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ

Арк.

58

## 12. ВИСНОВКИ

Проведене дослідження підтвердило можливість використання технології адитивного виробництва для виготовлення обладнання для штамів. В результаті роботи було розроблено та оптимізовано технологічний процес штампування, який включає основні етапи: відрізання заготовки, формовку, пробивання та відбортовування отворів. Окрім цього, особливу увагу було приділено моделюванню процесів деформування у програмному середовищі DEFORM-3D.

Застосування технології адитивного виробництва, зокрема 3D-друку, дозволяє розширити можливості виготовлення інструментів, забезпечити гнучкість виробничих процесів та зменшити час виконання замовлень.

Моделювання процесів формовки і відбортовування отворів в програмному середовищі DEFORM-3D дозволило детально вивчити деформований стан металу при формуванні. Це програмне середовище забезпечує достатньо точне моделювання за допомогою скінченно-елементного аналізу, що дозволяє врахувати всі аспекти технологічного процесу.

Для проведення симуляції обробки металу тиском були створені моделі інструментів у SolidWorks, які потім імпортувалися в DEFORM-3D. Отримані результати моделювання дозволяють оптимізувати параметри моделей інструментів, уникнути можливих дефектів та підвищити якість кінцевих виробів. Такий підхід забезпечує високу надійність та ефективність виробничих процесів, що є ключовим фактором у сучасному виробництві.

Таким чином, використання холодного штампування в поєднанні з адитивними технологіями та моделюванням процесів у програмному середовищі DEFORM-3D є перспективним напрямком розвитку сучасної металообробної промисловості, який дозволяє досягати високих результатів при мінімальних витратах.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

### 13. ОХОРОНА ПРАЦІ

Опис основних вимог техніки безпеки під час виконання штампувальних та викінчувальних робіт згідно із розробленим технологічним процесом ([6];[7], с 549-556):

- Вимоги безпеки до конструкції штампа повинні призначатися залежно від пресового обладнання та оснащеності його захисними пристроями, а також від умов і характеру виробництва, габаритних розмірів, матеріалу заготовок і призначення штампа. При цьому повинна бути передбачена безпечна експлуатація штампа.
- Штампи повинні відповідати вимогам безпеки протягом усього терміну їх експлуатації.
- Кріплення штампа до преса має бути надійним. Для кріплення штампа до преса болтами або прихватами плити повинні мати пази або майданчики. Кріплення за допомогою пазів болтами є кращим. Ширина полиці плит під прихвати приймається залежно від обраного кріплення, але не менше 16 мм.
- Застосовувати на хвостовиках перехідні втулки допускається у випадках, коли хвостовик призначений тільки для центрування.
- У разі застосування виштовхувального (буферного) пристрою в столі і (або) повзуні преса конструкція штампа повинна забезпечити можливість надійного центрування штампа на пресі.
- Деталі штампа, що фіксують, повинні бути міцно закріплені і забезпечувати зручну і надійну установку штучних заготовок і видалення деталей, для чого трафарети слід виконувати з прийнятною фаскою, а фіксатори - з приймальним конусом.
- Під час укладання і видалення заготовок і штампованих деталей за допомогою допоміжного інструменту (пінцета, кліщів тощо) слід передбачити для них у відповідних деталях штампа виїмки, пази і скоси.
- Штампи повинні експлуатуватися на призначеному для них обладнанні.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- У разі неможливості або недоцільності застосування механізованого або автоматизованого укладання заготовок у робочу зону штампа та видалення відштампованих деталей і відходів робота із застосуванням пінцетів, гачків, кліщів та інших допоміжних засобів, а також вручну без застосування допоміжного інструменту допускається лише за наявності на пресах ефективних захисних пристроїв (дворучне увімкнення, фотоелектронний захист, захисні огорожі тощо), висувних та відкидних матриць, зблокованих із увімкненням преса, або спеціальних захисних пристроїв.

- Ручне укладання заготовок у робочу зону і видалення відштампованих деталей і відходів зі штампового простору допускається тільки при знаходженні повзуна у верхньому вихідному положенні.

- Під час штампування деталей зі штучних заготовок з ручним подаванням їх у штамп не допускається робота преса в автоматичному режимі.

- Видалення застряглих у штампі деталей і відходів повинно здійснюватися за допомогою відповідних допоміжних засобів при вимкненому і повністю зупиненому пресі.

- Виробниче обладнання повинно відповідати вимогам безпеки при монтажі (при необхідності – демонтажі), експлуатації, ремонті, транспортуванні і зберіганні, при використанні окремо або в складі комплексів і технологічних систем.

- В процесі експлуатації виробниче обладнання не повинно забруднюватися викидами шкідливих речовин в навколишнє середовище (повітря, ґрунт, водні об'єкти), які перевищують норми, встановлені нормам.

- Виробниче обладнання повинно бути пожежо- та вибухобезпечним.

- З метою запобігання випадковому включенню робочих органів ручні кнопки обох рук повинні бути захищені або розташовані таким чином, щоб запобігти випадковому натисканню, а важелі повинні бути обладнані для цього засувками.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

- При роботі двома руками, що використовуються в ковальсько-пресовому обладнанні (КПО) з поступальним і зворотним рухом робочого органу, тривалість дії на пускові кнопки (важелі) повинна виключати можливість подальшого входження рук в небезпечну зону під час робочого ходу. При роботі з режимами однією рукою або педаллю необхідно застосовувати захисні пристрої робочої (небезпечної) зони.

- Зусилля на рукоятках та важелях при постійному ручному режимі і одиничних ходах не повинно перевищувати 40Н.

- Ножна педаль повинна бути закрита кришкою, яка запобігає випадковому удару об неї і відкрита тільки з боку обслуговування.

- Всі відкриті рухомі і обертові частини обладнання, розташовані на висоті до 250 мм від рівня підлоги, якщо вони є джерелами небезпеки, повинні бути закриті суцільним або сітчастим огороженням зі стороною сітки не більше 10 мм, за винятком місць, огороження яких не допускається їх функціональним призначенням (не поширюється на робочу зону машини).

- Частини опалювальних приладів з високотемпературними поверхнями, розташовані в зоні постійного обслуговування, повинні бути закриті захисними кожухами або теплоізоляцією так, щоб температура зовнішньої поверхні не перевищувала 45 °С.

- Норми виробничої санітарії повинні забезпечувати: раціональне розміщення підприємств, будівель і споруд; розмір виробничих потужностей; підбір складу і планування допоміжних приміщень; оптимальні параметри метеорологічних умов; раціональне освітлення; Рівень шуму та вібрації на робочому місці нижчий за допустимий рівень.

- У цехах листового штампування, ковальства і пресування повинні бути передбачені спеціальні санітарні вузли.

- Регулювання шуму і виробничих коливань в ковальсько-листових цехах здійснюється на підставі ГОСТ 12.1.003-76 і ГОСТ 12.1.012-78.

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

## 14. ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/ Под общ. ред. Л.И. Рудмана – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
3. Рудман Л.И. Наладка прессов для листовой штамповки: Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 219 с.
4. РТМ 105-0-212-83
5. Справочник по оборудованию для листовой штамповки, С74/Л.И. Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; Под общ. ред. Л.И. Рудмана. – К.: Техника, 1989. – 231 с.
6. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах под ред. Е.И.Семенова. М., «Машиностроение», 1985, Том 1.
7. ГОСТ 12.2.109-89
8. [High performance sheet metal forming tooling by additive.Stoll, Philipp; Spierings, Adriaan; Gebauer, Mathias; Müller, Bernhard; Polster, Stefan; Feld, Tobias; 2016](#)
9. [Sheet Metal Forming Using Additively Manufactured Polymer Tools. 2020](#)
10. [3D printing to facilitate flexible sheet metal forming production 2021](#)
11. [Extrusion-based additive manufacturing of forming and molding tools Matteo Strano 2021](#)

					ДП.АТ0109.06.000.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

# Додаток А



Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						<u>Документация</u>			
		A1			ДП.АТО109.06.200.00 СК	Штамп простої дії для пробивання отворів Складальне креслення			
						<u>Детали</u>			
				1	ДП.АТО109.06.200.01	Плита нижня	1		
				2	ДП.АТО109.06.200.02	Плита верхня	1		
		A2		3	ДП.АТО109.06.200.03	Матриця для пробивання отворів	1		
		A3		4	ДП.АТО109.06.200.04	Пуансонотримач	1		
		A4		5	ДП.АТО109.06.200.05	Пуансон	2		
		A3		6	ДП.АТО109.06.200.06	Трафарет П-образний	2		
				7	ДП.АТО109.06.200.07	Плитка підкладна	1		
						<u>Стандартные изделия</u>			
				8		Колонка ГОСТ 13118-83	2		
				9		Втулка ГОСТ 13120-83	2		
				10		Гвинт із циліндричною головкою і зіркоподібним заглибленням під ключ ГОСТ ISO 14579-M8 x 20	4		
				11		Гвинт із циліндричною головкою і зіркоподібним заглибленням під ключ ГОСТ ISO 14579-M5 x 16	4		
				12		Гвинт із циліндричною головкою і зіркоподібним заглибленням	4		
					<b>ДП.АТО109.06.200.00 СП</b>				
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
		Разраб.		Немчинов С.С.					
		Пров.		Сохан Д.В.					
		Н.контр.							
		Утв.							
Инв. № подл.		Специфікація на штамп простої дії для пробивання отворів					Лит.	Лист	Листов
							НН ММІ, к. ТВЛА КПІ ім. Ізгоря Сікорського		
		Копирова					Формат А4		



