

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ

«__» _____ 2026 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Технологія та оснащення виготовлення деталі «нервюра»
аеродинамічного профілю НАСА 4412»

Виконав: студент 4 курсу, групи АТ-21

_____ Здоровець Артем Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник _____ доц., к.т.н., Лавріненко Антон Дмитрович

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

(підпис)

Консультант _____ ТВЛА

(назва розділу)

доц., к.т.н., Орлюк Михайло Володимирович

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

(підпис)

Рецензент _____ ст. викл., PhD Мусієнко Ольга Станославівна

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

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2026 року

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Технологія та оснащення виготовлення деталі
«нервюра» аеродинамічного профілю NASA 4412»»

Київ – 2026 року

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

Інститут Навчально-науковий механіко-машинобудівний

кафедра Технології виробництва літальних апаратів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології виробництва літальних апаратів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ

«___» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Здоровцю Артему Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема проекту «Технологія та оснащення виготовлення деталі «нервюра» аеродинамічного профілю NASA 4412».

керівник проекту Лавріненко Антон Дмитрович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «01» 06 2026 р. № 2019-с

2. Термін подання студентом проекту 16.06.26

3. Вихідні дані до проекту 3D модель деталі, вимоги до точності елементів нервюри, геометрія профілю крила

4. Зміст пояснювальної записки: 1) огляд інформаційних та літературних джерел; 2) вибір матеріалу нервюри; 3) технологічний розділ; 4) скінчене елементне моделювання; 5) конструкторський розділ

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): результати скінчено-елементного моделювання, конструкторська документація штампового оснащення

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Моделювання формозмінних операцій в середовищі DEFORM	Орлюк М.В., доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів		

7. Дата видачі завдання 23.04.26

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд	23.04-05.05	
2	Вибір матеріалу нервюри	23.04-05.05	
3	Скінчено-елементне моделювання формозмінних операцій	06.05-25.05	
4	Технологічний розділ	26.05-31.05	
5	Конструкторський розділ	01.06-16.06	

Студент

Артем ЗДОРОВЕЦЬ

Керівник

Антон ЛАВРІНЕНКОВ

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

АНОТАЦІЯ

Відомість про обсяг текстової частини: 54 рисунки, 2 таблиці та 17 бібліографічних найменувань.

Актуальність теми – заготівельно штампувальне виробництво займає провідну ланку в індустрії, забезпечуючи велике серійне виробництво взаємозамінних деталей з великим коефіцієнтом використання матеріалу та високою економічністю виробничого процесу. Тема проекту пов'язує роботу над технологічно-конструкторською частиною процесу виготовлення деталі методом листового штампування, що є важливою складовою професійної діяльності інженера-технолога.

Мета роботи – дослідження технологічності деталі, розроблення технології її виготовлення та проектування відповідного оснащення.

Об'єкт дослідження – деталь «нервюра» крила аеродинамічного профілю NASA 4412.

Предмет дослідження – технологічність деталі, технологія її виготовлення та проектування штампового оснащення.

Методи дослідження – огляд наявних технологічних підходів щодо виготовлення окремих елементів деталі, комплексний аналіз технологічності деталі за допомогою довідникової літератури та методом чисельного моделювання в середовищі DEFORM. Використання довідникових даних та скорегованої геометрії деталі в ході аналізу її технологічності для проектування штампового оснащення.

Практичне значення одержаних результатів – розроблена технологія виготовлення деталі «нервюра» крила аеродинамічного профілю NASA 4412 та спроектоване відповідне штампове оснащення.

Ключові слова: нервюра крила, заготівельно штампувальне виробництво, технологічність конструкції, чисельне моделювання в середовищі DEFORM, проектування штампове оснащення.

ABSTRACT

Information on the scope of the explanatory note: 54 figures, 2 tables, and 17 bibliographic references.

The relevance of the topic lies in the fact that sheet metal stamping production occupies a leading position in modern industry, ensuring large-scale manufacturing of interchangeable parts with a high material utilization factor and high economic efficiency of the production process. The project focuses on the technological and design aspects of manufacturing a part by sheet metal forming, which is an important component of the professional activity of a manufacturing engineer.

The aim of the work is to investigate the manufacturability of the part, develop its manufacturing technology, and design the corresponding tooling.

The object of the study is a wing rib of the NACA 4412 airfoil profile.

The subject of the study is the manufacturability of the part, its manufacturing technology, and the design of stamping tooling.

Research methods include a review of existing technological approaches to manufacturing individual elements of the part, a comprehensive manufacturability analysis using reference literature, and numerical simulation in the DEFORM environment. Reference data and the modified geometry of the part were used during the manufacturability analysis for the design of stamping tooling.

The practical significance of the obtained results lies in the developed manufacturing technology for the NACA 4412 airfoil wing rib and the designed stamping tooling required for its production.

Keywords: wing rib, sheet metal stamping production, design manufacturability, numerical simulation in DEFORM, stamping tooling design.



Зміст:

ВСТУП.....	3
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	4
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
2.1. Вихідні умови для проектування	8
2.2. Алюмінієвий сплав Д16.....	9
2.3. Вибір стану сплаву Д16.....	10
2.4. Вибір технології виготовлення деталі	11
2.5. Комплексний аналіз технологічності	12
2.6. Моделювання формозмінних операцій в середовищі DEFORM	45
2.7. Уточнення геометрії нервюри крила	67
2.8. Розрахунок технологічних зусиль.....	70
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	75
3.1. Матриця (ДП.АТ2104.06.100.01).....	75
3.2. Буфер (ДП.АТ2104.06.100.02)	79
3.3. Матриця (продовження).....	82
3.4. Колонки під відборткування отворів	87
3.5. Пуансон (ДП.АТ2104.06.100.08)	93
3.6. Виштовхувач (ДП.АТ2104.06.100.09).....	97

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технологія та оснащення виготовлення деталі «нервюра» аеродинамічного профілю НАСА 4412		
Розроб.		Здоровець А. В.					
Перевір.		Лаврінченко А. Д.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Лаврінченко А. Д.			Літера Лист Листів 1 111 КПІ «ім. Ігоря Сікорського», НН ММІ		

3.7. Конструювання інших деталей пакету штампу	98
3.8. Проектування штампу (ДП.АТ2104.06.100.00 СК)	99
4. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ	101
4.1. Вибір пресу	101
4.2. Перевірка пресу по закритій висоті	101
4.3. Хвостовик	102
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	103
5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	103
5.2. Заходи безпеки при лазерному різанні	104
5.3. Заходи безпеки при термообробці	105
5.4. Заходи безпеки при листовому штампуванні	106
5.5. Аналіз шуму та вібрації	106
5.6. Освітлення робочого місця	107
5.7. Пожежна безпека	107
5.8. Ергономічні вимоги	107
5.9. Загальний висновок	108
ВИСНОВОК	109
Література	110

ВСТУП

Дипломне проектування є заключною кваліфікаційною роботою, мета якої полягає у розкритті набутих компетентностей та знань студента на базі виконання цілком реальної поставленої задачі.

В даному проекті висвічується основна робота над приведенням розробленої конструктором деталі до цілком технологічної, тобто тієї, яка може бути виготовлена в найбільш економічному секторі з використанням доступних та найменш трудомістких методів виготовлення. Даний напрямок роботи є основним напрямком навчання та здобуття пов'язаних навичок на кафедрі «Технології виробництва літальних апаратів», де найбільше уваги присвячується обробці металів тиском. Саме задана деталь на дипломний проект має всі притаманні характеристики, що виготовляються методами холодного штампування. Окрім цього даний проект об'єднує конструкторський напрямок та інші технологічні підходи з виготовлення заготовки, напівфабрикату чи деталі.

Розробка технологічності деталі є невід'ємною її складовою на шляху до фінального виробництва, а тому є важливим на будь-якому підприємстві.

Заданою деталлю на дипломне проектування є штампована нервюра крила з профілем НАСА 4412. Нервюра в авіаційній промисловості є вузлом конструкції [1, с. 24], але при розробці методів її виготовлення розглядається, як деталь.

Окремо хочеться зазначити перспективи розвитку проектування конструкцій деталей та вузлів авіаційних конструкцій в загальній системі CALS-технологій, які стали невід'ємною частиною на шляху інтенсивного розвитку наукоємної промисловості. CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – неперервна підтримка поставок життєвого циклу) надає можливість у відмові від «паперового середовища» і забезпечує перехід до інтегрованого інформаційного середовища, яке охоплює усі стадії життєвого циклу виробу. [1, с. 28]

					<i>ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Для виготовлення деталі «нервюра» було розглянуто існуючі методи штампування та варіанти виготовлення нервюри. Найбільше уваги було приділено виготовленню носової частини нервюри (рис. 1.1), оскільки він є одним із найвимогливішим до технологічності, адже його формування нагадує процес витягування.

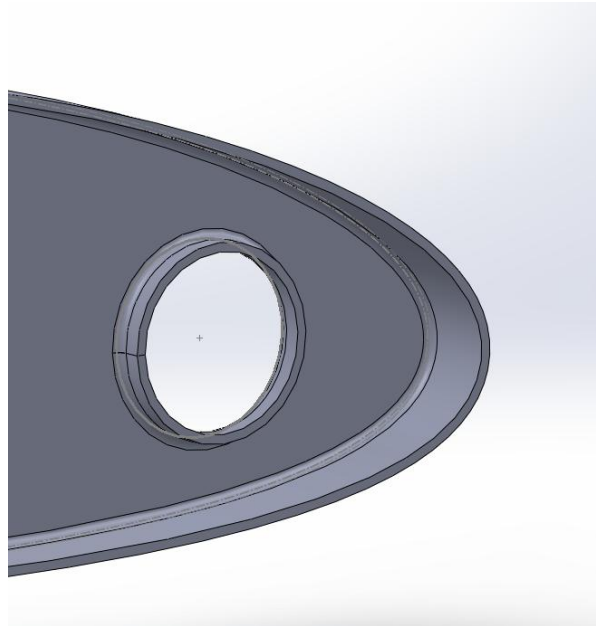


Рис. 1.1 Носова частина нервюри

Один із поширених підходів, що був знайдений, є поділення контуру носка на окремі полицки (рис. 1.2 та 1.3). В даному випадку формування носка нервюри наближається до процесу звичайного гнуття, що має менш жорсткі вимоги до технологічності деталі, ніж процес витяжки.



[<https://vansairforce.net/threads/ribs-forming-blocks.219906/>]

Рис. 1.2 Поділ носка на окремі елементи під гнуття



[[https:// www.aerovintage.com/rv8/wing1.htm](https://www.aerovintage.com/rv8/wing1.htm)]

Рис. 1.3 Один з підходів штампування носової частини нервюри

Інший метод, що був запропонований головним технологом з підприємства АТ «АНТОНОВ» - утворення перемички на носку нервюри (рис. 1.4), що також наближає процес формування до звичайного гнуття.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

5

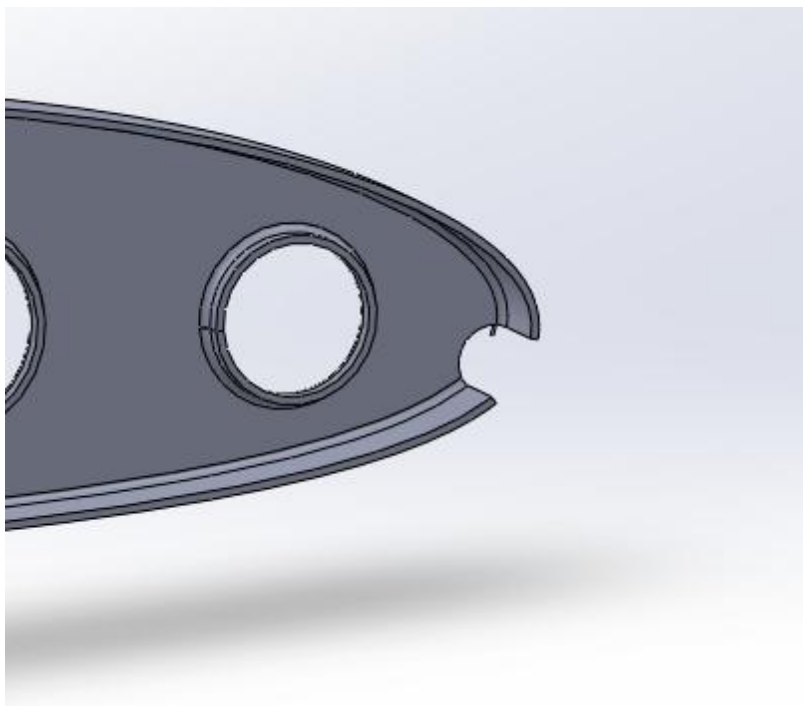
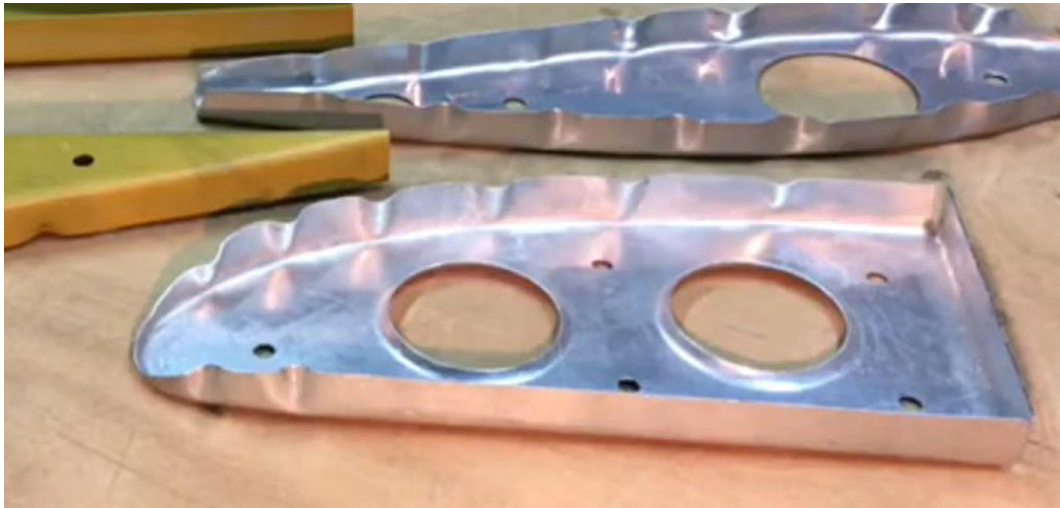


Рис. 1.4 Штампування носової частини нервюри за рахунок розімкнення контуру зовнішнього борту

Але розімкнення контуру впливає жорсткість деталі та передачу напружень. Начальник сектору конструкторського бюро з АТ «АНТОНОВ» надав рекомендації щодо уникнення можливих конструктивних змін, а саме – розімкнення контуру носка нервюри.

Тому подальша задача полягає у розробленні технології штампування без можливого розімкнення контуру деталі.

Також було знайдено конструктивний підхід для компенсації пружинення (рис. 1.5), де на стінках нервюри формують ребра, що запобігають зміні сформованої геометрії деталі.



[<https://www.youtube.com/watch?v=D24UnAUPUpI&t=36s>]

Рис. 1.5 Підхід для компенсації пружинення

Окрім штампування, для виготовлення нервюри можливо застосування методу гідроформування. Даний підхід використовується на підприємстві АТ «АНТОНОВ» і не тільки. Але враховуючи значний досвід та напрямок роботи кафедри із штампувальним оснащенням, то для формоутворення деталі приймається штампування.

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Вихідні умови для проектування



Рис. 2.1 Модель нервюри крила БПЛА

CAD-модель нервюри крила;

Матеріал деталі – алюмінієвий сплав Д16;

Товщина листового матеріалу – 1 мм;

Профіль нервюри – НАСА4412;

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

2.2. Алюмінієвий сплав Д16

2.2.1. Аналог матеріалу Д16

Відповідно до ГОСТ 4784-97 аналогом алюмінієвого сплаву Д16 є сплав AlCuMg1 або Al-2024, що керується стандартом ISO 209-1 (за табл. 2 [2, с. 4]).

2.2.2. Фізико-механічні властивості Д16

2.2.2.1. Механічні властивості

Таблиця 2.1 Механічні властивості Д16 за кімнатної температури

[3, с. 16, табл. 7]

Марка алюмінію та алюмінієво- го сплаву	Стан матеріалу	Позначення сплаву та стану матеріалу	Стан випробову- ваного зразку	Товщина листа, мм	Механічні властивості за кімнатної температури		
					Границя міцності, МПа σ_B	Границя текучості, МПа $\sigma_{0,2}$	Відносне подовження при $l =$ $11,3\sqrt{F}$, δ , %
					Не менше		
Д16Б, Д16	Загартова- ний та природньо зістарений	Д16БТ, Д16Т	Загартовані та природньо зістарені	Від 0,5 до 1,5	440	290	13,0
Д16А	Відпалений	Д16АМ	Відпалені	Від 0,5 до 1,9	145-225	-	10,0
	Загартова- ний та природньо зістарений	Д16АТ	Загартовані та природньо зістарені	Від 0,5 до 1,9	405	270	13,0

2.2.2.2. Хімічний склад

Таблиця 2.2 Хімічний склад Д16 (за табл. 2 [2, с. 4]).

%, ГОСТ 4784-97							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0,50	0,50	3,8-4,9	0,30-0,9	1,2-1,8	0,10	0,25	0,15

2.3. Вибір стану сплаву Д16

Стан алюмінієвого сплаву Д16 відрізняється способом попередньої термічної обробки, що в свою чергу впливає на його механічні характеристики.

За ГОСТ 21631-76 для товщин листа 1 мм характеризуються наступні стани алюмінієвого сплаву: Д16БТ, Д16Т, Д16АМ, Д16АТ [3, с. 16, табл. 7].

Літери Б та А вказують на плакування (нанесення шару чистого алюмінію на поверхню листів).

Відповідно до ГОСТ 21631-76 [3, с. 1]: Б – технологічне плакування; А – нормальне плакування; у випадку сплаву Д16Т – плакування відсутнє.

Елементи планера включаючи нервюру крила мають відповідати високій експлуатаційній довговічності, надійності та міцності. Натомість наявність міді в алюмінієвому сплаві суттєво погіршує його корозійну стійкість, що буде впливати на механічні характеристики матеріалу та може призвести до ранішого від передбаченого терміну виходу з ладу деталі. Тому для забезпечення високого ресурсу нервюри крила необхідно використовувати листи з плакувальним шаром, який в свою чергу запобігає корозії сплаву.

Приймається нормальне плакування – Д16А.

Літери М та Т вказують на стан матеріалу.

За ГОСТ 21631-76 [3, с. 2]: М – відпалений; Т – загартований та природньо зістарений.

Відпалений матеріал має значно меншу границю міцності та твердість ніж загартований, що робить його більш придатним для штампування. Але для забезпечення міцності необхідне гартування після штампування, що у свою чергу веде до короблення і вимагає залучення додаткової технологічної операції – правки.

Один із запропонованих технологічних підходів, який використовується у виробництві, є штампування Д16АМ впродовж години після гартування. Впродовж зазначеного часу з твердого пересиченого розчину сплаву ще не відбулося значного випадіння дисперсних фаз, які в свою чергу блокують рух

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

дислокацій зміцнюючи таким чином матеріал. Після штампування за рахунок старіння деталей набуває необхідної міцності без побічного деформування, що виключає залучення додаткової операції – правлення, і обґрунтовує свою економічність.

Тому приймається попередньо згаданий метод виготовлення деталі, а матеріалом листа приймається Д16АМ.

2.4. Вибір технології виготовлення деталі

Нервюра крила має характерні ознаки, що вимагають процесу штампування. В даному плані процес забезпечить майже безвідходне отримання остаточної геометрії деталі із заготовки у порівнянні з іншими методами, такими як, наприклад, фрезерування чи електроерозійна обробка, де отримання такого типу деталі супроводжувалося б мізерним відсотком використання матеріалу та витратами на інструменти. Тому в такому плані більш детально розглядати та порівнювати інші методи немає сенсу і вже на початку роботи деталь розглядалася як штампована.

Для забезпечення формоутворення усіх елементів деталі із заготовки, розглядається штамп суміщеної дії для отримання кінцевої геометрії нервюри крила за один перехід. Це дозволить зменшити трудомісткість та кількість операцій і відповідного оснащення для виготовлення деталі, що також є позитивним економічним критерієм.

Але формоутворення деталі вимагає технологічного аналізу для можливості її виготовлення, він буде виконаний наступним кроком.

Одним із важливих етапів технологічного процесу є отримання плоскої заготовки точного розміру для подальшого формоутворення деталі. Нервюра крила має великі габаритні розміри, а тому її розгортка може не бути отримана за рахунок операції вирубки-пробивки через відсутність стандартних штамтів таких великих розмірів.

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Альтернативними методами розкрою є лазерне різання, плазмове різання, фрезерування, гідроабразивне різання. Плазмове різання у порівнянні з іншими даними методами забезпечує меншу точність розкрою та не підходить для тонких листів. Недоліками фрезерування є більша тривалість операції та значні витрати матеріалу. Гідроабразивне різання у порівнянні з лазерним різанням не має теплового впливу і відповідної зміни структури матеріалу, що ще є однією з переваг, але продуктивність лазерного різання в даному секторі може бути вище, а вартість обробки менше. Тому лазерне різання показує свій ряд переваг у порівнянні до інших методів для даної операції.

Крім того, науковим керівником порекомендовано метод розкрою лазерним різанням для даної деталі, як одним із провідних, що використовується в авіаційній галузі.

Відповідно до прийнятих технологічних операцій зіставляється їх послідовність:

1. Розкрій лазером;
2. Гартування;
3. Суміщений процес формоутворення.

2.5. Комплексний аналіз технологічності

«Забезпечення технологічності конструкції деталі (виробу) – найважливіша функція технологічної підготовки виробництва» [4, с. 50].

Технологічність деталі визначається простотою її виготовлення з найменшим об'ємом відходу матеріалу та кількості технологічних операцій, що визначає її економічність. Спрощення геометрії деталі зменшує трудомісткість її виготовлення та комплексність штампів, що в свою чергу робить процес більш економічним. Але зміна геометрії та елементів деталі в цілях її технологічності не має суперечити її призначеному функціоналу та конструкції.

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

На базі досвіду виготовлення деталей методом холодно-листового штампування технологами встановлено певні критерії, керуючись якими можна оцінити технологічність деталі.

Дана нервюра має характерні елементи, які утворюються відборткуванням та рельєфним формуванням, що мають свої вимоги для запобігання руйнування матеріалу при штампуванні.

Будується схема деталі (рис. 2.2) для аналізу її технологічності. Для цього використовується сучасна CAD-система SOLIDWORKS, яка має широкий функціонал і дозволяє працювати як з CAD-моделями, так і креслениками, а також виконувати інші задачі. Дана програма буде часто використовуватися у даному дипломному проєкті для створення графічних схем та роботою з тривимірними моделями.

Аналіз технологічності необхідний для передбачення конструктивних змін у деталі, що в першу чергу вплине на розгортку деталі, яка отримується лазерним різанням. Аналіз проводиться з елементів, що отримуються відборткуванням та профільним формуванням.

2.5.1. Відборткування

Нервюра крила по зовнішньому контуру має не замкнутий борт, що відноситься до зовнішнього відборткування та відборткованні отвори, що відноситься до внутрішнього відборткування. Оскільки дані елементи мають різні підходи стосовно розрахунку, то їх технологічність буде розглядатися окремо.

2.5.1.1. Внутрішнє відборткування

Одним з основних параметрів є коефіцієнт відборткування $K_{\text{відб}}$. При досягненні значень даного коефіцієнту нижчих за граничні виникають тріщини. [4, с. 317]

Коефіцієнт відборткування визначається за формулою 3 [4, с. 319]:

$$K_{\text{відб}} = d_0 / D_0, \quad (2.1)$$

де d_0 – необхідний діаметр технологічного отвору для відборткування, мм;

D_0 – середній діаметр відбортаного отвору, мм.

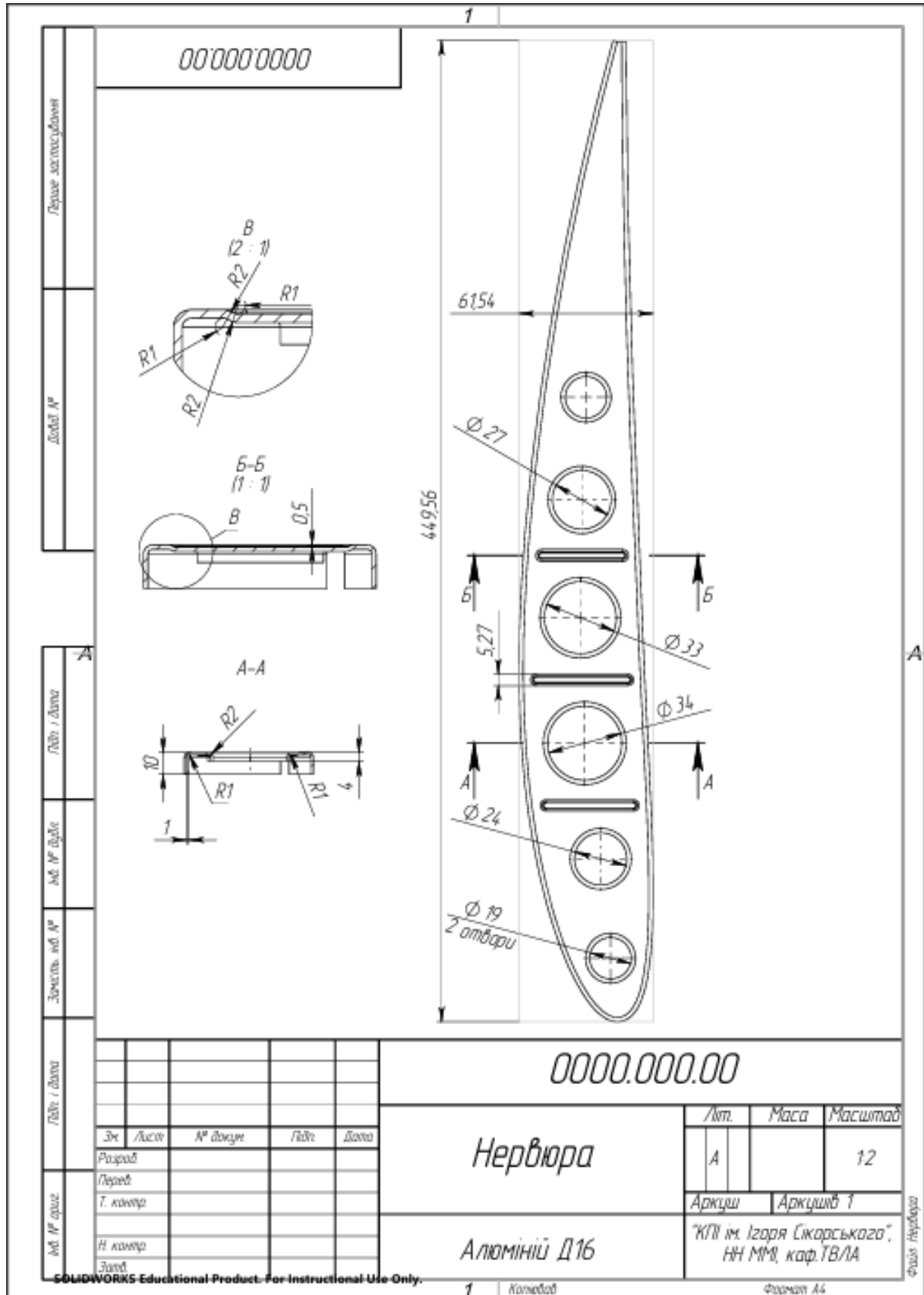


Рис. 2.2 Схема деталі

Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

14

Для відносно невисокого борту, який має дана нервюра, d_0 можна розрахувати за формулою 2 [4, с. 319]:

$$d_0 = D_0 + 0,86 \cdot r_m - 2 \cdot H_6 - 0,57 \cdot s, \quad (2.2)$$

де r_m – радіус робочої кромки матриці, який дорівнює внутрішньому радіусу заокруглення борту. Згідно схеми (рис. 2.2) $r_m = 1$ мм;

H_6 – висота борту. Згідно схеми (рис. 2.2) $H_6 = 3$ мм;

$s = 1$ мм – товщина матеріалу.

Середній діаметр відбортованого отвору [4, с. 319]:

$$D_0 = D_{\text{вн}} + s, \quad (2.3)$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр відбортованого твору, мм.

Деталь має 6 відбортованих отворів, два з яких мають однаковий діаметр.

$$D_1 = 19 \text{ мм};$$

$$D_2 = 24 \text{ мм};$$

$$D_3 = 27 \text{ мм};$$

$$D_4 = 33 \text{ мм};$$

$$D_5 = 24 \text{ мм}.$$

Згідно даних формул, коефіцієнт відборткування наближається до граничного значення (зменшується) за умови меншого внутрішнього діаметру відбортованого отвору, чи збільшення висоти борту. Тому розрахунок почнеться з менших отворів.

2.5.1.1.1. Діаметр 19 мм

За формулою 2.3 розраховується середній діаметр відбортованого отвору:

$$D_{0.1} = 19 + 1 = 20 \text{ мм}.$$

За формулою 2.2 знаходиться необхідний діаметр технологічного отвору для відборткування:

$$d_{0.1} = 20 + 0,86 \cdot 1 - 2 \cdot 3 - 0,57 \cdot 1 = 14,29 \text{ мм}.$$

Визначається коефіцієнт відборткування за формулою 2.1:

$$K_{\text{відб.1}} = 14,29/20 = 0,7145.$$

В довіднику Романовського [5] зібрані розрахункові значення коефіцієнтів відборткування для маловуглецевої сталі, де за табл. 111 [5, с. 221] для відношення $d_0/s = 14,29/1 = 14,29$ наявні наступні значення коефіцієнтів:

$$K_{\text{відб.1.1}}^{\text{гран}} = 0,40;$$

$$K_{\text{відб.1.2}}^{\text{гран}} = 0,48;$$

$$K_{\text{відб.1.3}}^{\text{гран}} = 0,45;$$

$$K_{\text{відб.1.4}}^{\text{гран}} = 0,55.$$

Де індекс в кінці 1 вказує про спосіб відборткування сферичним пуансоном просвердленого з зачищеними задирками отвору; 2 – відборткування сферичним пуансоном пробитого в штампі отвору; 3 – відборткування циліндричним пуансоном просвердленого з зачищеними задирками отвору; 2 – відборткування циліндричним пуансоном пробитого в штампі отвору.

Серед зазначених граничних коефіцієнтів відборткування розрахований має більше значення, що значить, що загрози руйнування матеріалу немає, а отже технологічність відборткованих отворів даного діаметру забезпечується.

2.5.1.1.2. Діаметр 24 мм

Аналогічно розраховуються наступні діаметри:

$$D_{0.2} = 24 + 1 = 25 \text{ мм.}$$

$$d_{0.2} = 25 + 0,86 \cdot 1 - 2 \cdot 3 - 0,57 \cdot 1 = 19,29 \text{ мм.}$$

$$K_{\text{відб.2}} = 19,29/25 = 0,7716.$$

За табл. 111 [5, с. 221] для відношення $d_0/s = 19,29/1 = 19,29$ наявні наступні значення коефіцієнтів:

$$K_{\text{відб.2.1}}^{\text{гран}} = 0,45;$$

$$K_{\text{відб.2.2}}^{\text{гран}} = 0,52;$$

$$K_{\text{відб.2.3}}^{\text{гран}} = 0,50;$$

$$K_{\text{відб.2.4}}^{\text{гран}} = 0,60.$$

Серед перерахованих коефіцієнтів, розраховане значення більше, а отже відборткований отвір може бути отриманий за усіх зазначених підходів.

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2.5.1.1.3. Діаметр 27 мм

$$D_{0.3} = 27 + 1 = 28 \text{ мм.}$$

$$d_{0.3} = 28 + 0,86 \cdot 1 - 2 \cdot 3 - 0,57 \cdot 1 = 22,29 \text{ мм.}$$

$$K_{\text{відб.3}} = 22,29/28 = 0,7961.$$

За табл. 111 [5, с. 221] для відношення $d_0/s = 22,29/1 = 22,29$ наближені наступні значення коефіцієнтів:

$$K_{\text{відб.3.1}}^{\text{гран}} = 0,45;$$

$$K_{\text{відб.3.2}}^{\text{гран}} = 0,52;$$

$$K_{\text{відб.3.3}}^{\text{гран}} = 0,50;$$

$$K_{\text{відб.3.4}}^{\text{гран}} = 0,60.$$

Розрахований коефіцієнт є більшим за зазначені коефіцієнти, а отже даний отвір може бути відбортований за всіх перерахованих методів.

2.5.1.1.4. Діаметр 33 мм

$$D_{0.4} = 33 + 1 = 34 \text{ мм.}$$

$$d_{0.4} = 34 + 0,86 \cdot 1 - 2 \cdot 3 - 0,57 \cdot 1 = 28,29 \text{ мм.}$$

$$K_{\text{відб.4}} = 28,29/34 = 0,8321.$$

За табл. 111 [5, с. 221] для відношення $d_0/s = 28,29/1 = 28,29$ наближеними є наступні значення коефіцієнтів:

$$K_{\text{відб.4.1}}^{\text{гран}} = 0,52;$$

$$K_{\text{відб.4.2}}^{\text{гран}} = 0,57;$$

$$K_{\text{відб.4.3}}^{\text{гран}} = 0,60;$$

$$K_{\text{відб.4.4}}^{\text{гран}} = 0,65.$$

Для всіх випадків розрахований коефіцієнт більший, а тому відборткування даного отвору може бути виконане за усіх перерахованих методів.

2.5.1.1.5. Діаметр 34 мм

$$D_{0.5} = 34 + 1 = 35 \text{ мм.}$$

$$d_{0.5} = 35 + 0,86 \cdot 1 - 2 \cdot 3 - 0,57 \cdot 1 = 29,29 \text{ мм.}$$

$$K_{\text{відб.5}} = 29,29/35 = 0,8369.$$

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

За табл. 111 [5, с. 221] для відношення $d_0/s = 29,29/1 = 29,29$ наближені наступні значення коефіцієнтів:

$$K_{\text{відб.5.1}}^{\text{гран}} = 0,45;$$

$$K_{\text{відб.5.2}}^{\text{гран}} = 0,52;$$

$$K_{\text{відб.5.3}}^{\text{гран}} = 0,50;$$

$$K_{\text{відб.5.4}}^{\text{гран}} = 0,60.$$

Серед перерахованих коефіцієнтів, розраховане значення більше, а отже даний відбортований отвір може бути отриманий за усіх зазначених підходів.

Отже конструкція нервюри крила забезпечує технологічність внутрішніх відбортаних отворів.

2.5.1.2. Зовнішнє відборткування

Зовнішній борт деталі повторює контур нервюри, але не є замкнутим. Формування можна розглянути як витягування низької коробки.

Даному випадку даний борт розділити на три окремі елементи і розглядати окремо.

Формування переднього носка нервюри можна розглядати, як витяжку, а нижню та верхню поверхню – як гнуття.

Оскільки процес витяжки є відносно комплексним у порівнянні з гнуттям, тому він розглядається першим.

2.5.1.2.1. Витяжка

Основною вимогою до деталей, що виготовляються витяжкою, є наявність плавних сполучень між стінками, а також між стінками та дном деталі [4, с. 229].

Найменші значення радіусів сполучень у частках від товщини s елементів металевих деталей, що виготовляються витяжкою без додаткового калібрування (за табл. 1 [4, с. 229]) при товщині деталі меншої рівної за 6 мм, де (за рис. 2.2) $s = 1$ мм, та круговою циліндричної форми деталі мають наступні значення:

$$r_{\text{п.мін}} = (2 \dots 3) \cdot s, \quad (2.4)$$

$$r_{\text{п.мін}} = (2 \dots 3) \cdot 1 = 2 \dots 3 \text{ мм},$$

де $r_{п.min}$ – мінімальний радіус заокруглення робочих кромek пуансону, мм.

Радіус заокруглення робочих кромek пуансону відповідає внутрішньому радіусу заокруглення між стінками та дном деталі. Тому порівнюються наступні параметри:

$$r_{п.min} = 2 \dots 3 \text{ мм} > R = 1 \text{ мм},$$

де $R = 1 \text{ мм}$ (за рис. 2.2) – радіус заокруглення між стінкою (бортом) та дном деталі.

Призначений радіус деталі менший за мінімальний допустимий у випадку витягування без калібрування. Вимагається додаткова операція калібрування або збільшення даного радіусу заокруглення за узгодження з конструктором.

З метою зменшення трудомісткості та кількості операцій, що також є економічним показником, необхідно досягти формоутворення даного елемента деталі за один перехід.

Оскільки вимоги по радіусу заокруглення стосуються процесів витягування з великим ступенем деформації, які у випадку нервюри є меншими, тому для розкриття повної картини технологічності радіусу приймається рішення провести моделювання процесу витягування стакану.

Для симуляції та дослідження процесів формоутворення використовується програмний комплекс DEFORM, який дозволяє отримати точні результати під час моделювання, що в свою чергу надає можливість оцінити та за необхідності змінити підхід формоутворення деталі.

2.5.1.2.1.1. Визначення розмірів стакану

Кінцева висота стакану відповідає висоті зовнішнього борту нервюри, а діаметр дорівнює найменшому діаметру кола вписаного у носок нервюри.

Знаходиться внутрішній діаметр стаканчика за рис. 2.3:

$$d_{вн.ст} = 12 \text{ мм.}$$

Висота стакану.

$$H_{ст} = 10 \text{ мм.}$$

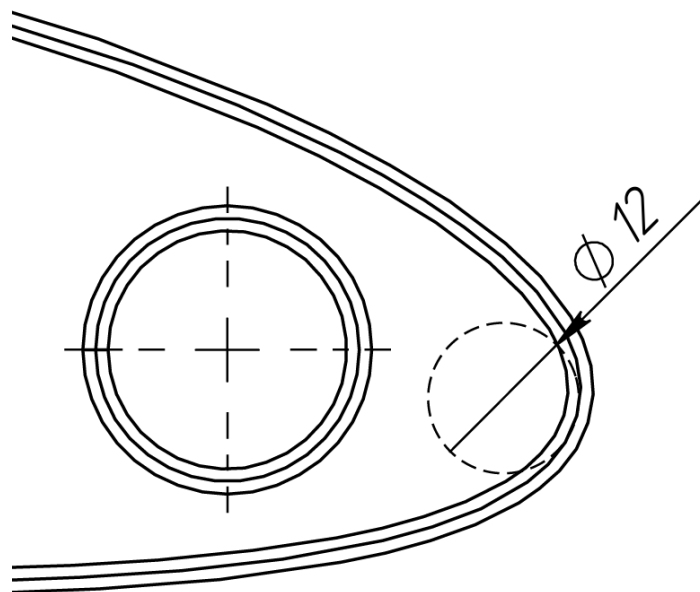


Рис. 2.3 Схема носової частини деталі

Внутрішній радіус заокруглення відповідає внутрішньому радіусу заокруглення між стінкою та дном носка нервюри:

$$R = 1 \text{ мм.}$$

Товщина матеріалу аналогічна до товщини матеріалу нервюри крила:

$$s = 1 \text{ мм.}$$

Будується схема стакану (рис. 2.4):

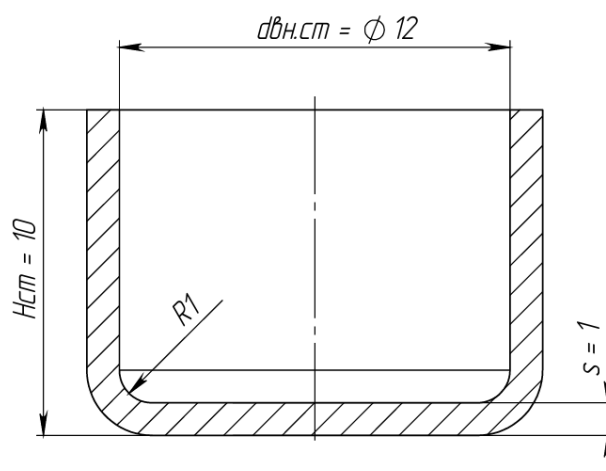


Рис. 2.4 Схема стакану

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

20

2.5.1.2.1.2. Розрахунок розмірів заготовки

«Вихідною заготовкою для витягування типу порожнистого циліндра без умовного потоншення матеріалу деталі є коло. Його діаметр визначається виходячи з необхідних форми та розмірів деталі, що штампується.» [4, с. 232]

2.5.1.2.1.2.1. Припуск на обрізування

За рахунок неоднорідності структури металу, що штампується, верхні кромки деталей після витягування виходять нерівними. Тому при розрахунку діаметру вихідної заготовки необхідно враховувати припуск ΔH на обрізування деталі по висоті. [4, с. 232]

Для визначення припуску на обрізування по висоті, необхідно визначити відношення висоти стакану до середнього діаметру деталі:

$$\frac{H_{\text{ст}}}{d_{\text{п}}},$$

де $d_{\text{п}}$ – діаметр по середині товщини стакану (середній діаметр), мм.

Середній діаметр розраховується наступним чином:

$$d_{\text{п}} = d_{\text{вн.ст}} + s, \quad (2.5)$$

$$d_{\text{п}} = 12 + 1 = 13 \text{ мм.}$$

$$\frac{H_{\text{ст}}}{d_{\text{п}}} = \frac{10}{13} \approx 0,77.$$

Припуск на обрізування по висоті кругової циліндричної деталі при її висоті, що дорівнює 10 мм, та $H_{\text{ст}}/d_{\text{п}} = 0,77$ (за табл. 5 [4, с. 233]) має наступне значення:

$$\Delta H_{\text{д}} = 1,5 \text{ мм.}$$

Відповідно, висота стакану з припуском наступна:

$$H_{\text{зп}} = H_{\text{д}} + \Delta H_{\text{д}}, \quad (2.6)$$

$$H_{\text{зп}} = 10 + 1,5 = 11,5 \text{ мм.}$$

Будується схема стакану з припуском по висоті на обрізування (рис. 2.5).

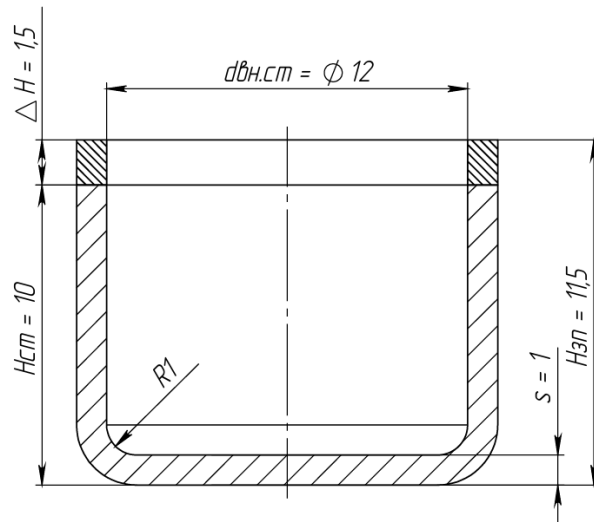


Рис. 2.5 Схема стакану з припуском по висоті на обрізування

2.5.1.2.1.2.2. Визначення діаметру заготовки

Розрахунок діаметру вихідної заготовки виконується виходячи з умови рівності площ бокової поверхні деталі (розрахунок ведеться по серединній лінії перерізу) [4, с. 233].

Площу заготовки в плані можна визначити наступним чином:

$$F_{зг} = F_1 + F_2 + \dots F_n, \quad (2.7)$$

де $F_1, F_2 \dots F_n$ – площі поверхонь елементарних фігур на які розбивається деталь для спрощення розрахунку площі її поверхні, мм^2 .

Будується розрахункова схема стакану з середньою лінією перерізу і розбивається на окремі відрізки та частини (рис. 2.6).

Висота циліндра по середній лінії визначається наступним чином:

$$h_{ц} = H_{зп} - R - s, \quad (2.8)$$

$$h_{ц} = 11,5 - 1 - 1 = 9,5 \text{ мм.}$$

Розраховуються радіуси заокруглення по середній лінії:

$$r_c = R + \frac{s}{2}, \quad (2.9)$$

$$r_c = 1 + \frac{1}{2} = 1,5 \text{ мм.}$$

Діаметр донної частини по середній лінії наступний:

$$d_{\text{дн}} = d_{\text{вн.ст}} - 2 \cdot R, \quad (2.10)$$

$$d_{\text{дн}} = 12 - 2 \cdot 1 = 10 \text{ мм.}$$

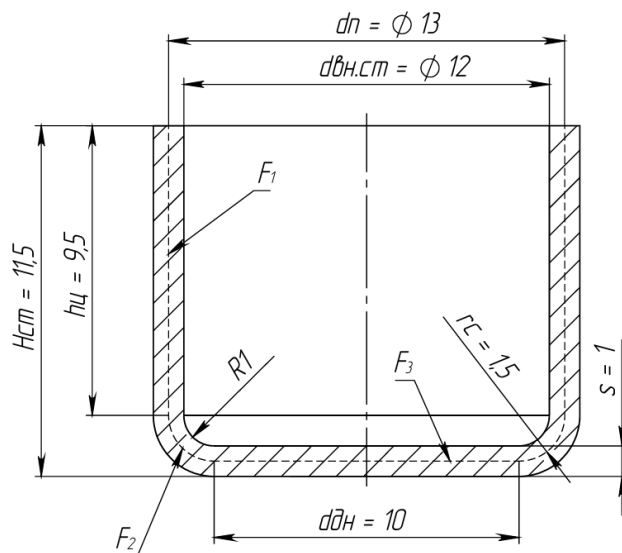


Рис. 2.6 Розрахункова схема деталі з середньою лінією перерізу

Дана фігура розбивається на три частини: циліндр, випукла чверть сферичного кільця та коло.

Площа циліндра наступна:

$$F_1 = \pi \cdot d_{\text{п}} \cdot h_{\text{ц}}, \quad (2.11)$$

$$F_1 = \pi \cdot 13 \cdot 9,5 \approx 388 \text{ мм}^2.$$

Для розрахунку площі поверхні випуклої чверті сферичного кільця існує наступна формула (№ 9, за табл. 31 [5, с. 93]):

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (2 \cdot \pi \cdot d \cdot r + 8 \cdot r^2), \quad (2.12)$$

де r – радіус кільця, мм. В даному випадку це радіус заокруглення по середній лінії $r = r_{\text{с}} = 1,5 \text{ мм}$;

d – діаметр сферичного кільця, що відповідає діаметру дна стакану

$d = d_{\text{дн}} = 10 \text{ мм}$.

Розраховується площа:

$$F_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 1,5 + 8 \cdot 1,5^2) = 88,16 \text{ мм.}$$

Знаходиться площа останньої частини – кола:

$$F_3 = \frac{\pi \cdot d_{\text{дн}}^2}{4}, \quad (2.13)$$

$$F_3 = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \approx 78,5 \text{ мм}^2.$$

Сума даних площ, як було попередньо описано, відповідають площі заготовки в плані і розраховуються за формулою 2.7:

$$F_{\text{зг}} = F_1 + F_2 + F_3 = 388 + 88,16 + 78,5 = 554,66 \text{ мм}^2.$$

Розраховується необхідний діаметр заготовки:

$$D_{\text{зг}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{зг}}}{\pi}}, \quad (2.14)$$

$$D_{\text{зг}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 554,66}{\pi}} \approx 26,6 \text{ мм.}$$

Отримано розміри заготовки.

2.5.1.2.1.2.3. Відносна товщина заготовки

Визначається наступним методом [4, с. 234]:

$$100\% \cdot \frac{s}{D_{\text{зг}}} = 100\% \cdot \frac{1}{26,6} \approx 3,8\%.$$

2.5.1.2.1.3. Розрахунок параметрів витягування

2.5.1.2.1.3.1. Умова використання притискача при витягування

Необхідність притискача при витягуванні та можливість витягування без притискача визначається за наступними умовами (за табл. 8 [4, с. 243]):

За першої операції витягування:

$$D_{\text{зг}} - d_1 \leq 22 \cdot s, \quad (2.15)$$

де d_1 – діаметр напівфабрикату після першої операції витягування, мм.

За умови, що ліва частина формули більша за праву, то необхідне використання притискача, якщо навпаки, то притискача не потрібно використовувати.

Коли виконується рівність, то операція може виконуватися як з притискачем, так і без.

При наступних операціях:

Використовується притискач якщо:

$$100 \cdot \frac{s}{d_{n-1}} < 1,25, \quad (2.16)$$

де d_{n-1} – діаметр напівфабрикату після попередньої (n-1) операції витягування, мм.

Можливість виконання операції витягування з притискачем або без нього наявна за наступної умови:

$$100 \cdot \frac{s}{d_{n-1}} = 1,25 \dots 1,5, \quad (2.17)$$

Без притискача обходяться, якщо:

$$100 \cdot \frac{s}{d_{n-1}} > 1,5, \quad (2.18)$$

2.5.1.2.1.3.2. Кількість переходів

Число операцій витягування та розміри напівфабрикату визначають виходячи із допустимих коефіцієнтів витягування, що встановлюють граничне можливе зменшення діаметру вихідної чи проміжної заготовки за одну операцію витягування [4, с. 234].

Після першого витягування:

$$d_1 = m_1 \cdot D_{зг}, \quad (2.19)$$

де d_1 – діаметр напівфабрикату за перший перехід, мм;

m_1 – коефіцієнт витягування для першого переходу;

$D_{зг}$ – діаметр заготовки, мм.

Для наступних операцій:

$$d_n = m_n \cdot d_{n-1}, \quad (2.20)$$

де d_n – діаметр напівфабрикату за n -ий перехід, мм;
 m_n – коефіцієнт витягування для n -го переходу;
 d_{n-1} – діаметр напівфабрикату за $n-1$ (попередній) перехід, мм.

Розрахункові коефіцієнти витягування циліндричних деталей без фланцю виражаються наступними відношеннями [5, с. 118]:

Для першої операції витягування:

$$m_{1.p} = \frac{d_{\Pi}}{D_{зг}}, \quad (2.21)$$

де d_{Π} – діаметр деталі (по середній лінії), мм;
 $D_{зг}$ – діаметр вихідної заготовки, мм.

У разі, якщо за перший перехід не можливо отримати деталь, тому додається мінімум ще одна операція витягування.

Для наступних операцій:

$$m_{n.p} = \frac{d_{\Pi}}{d_{n-1}}, \quad (2.22)$$

де d_{n-1} – діаметр заготовки за попередню $n-1$ операцію витягування, мм.

Аналогічно, якщо на даному переході не можна отримати деталь, то додається щонайменше ще один перехід.

Перший перехід

Визначається допустимий коефіцієнт витягування циліндричної деталі без фланця на першому переході.

В довіднику Романовського зібрані оптимальні коефіцієнти витягування сталей 08, 10Г, 15Г, м'якої латуні та інших аналогічних сплавів (табл. 45 [5, с. 118]). Найбільша відносна товщина заготовки $(s/D_{зг}) \cdot 100\% = 2\%$, в той час, як розрахована відносна товщина заготовки під стакан становить $(s/D_{зг}) \cdot 100\% = 3,8\%$. Це значить, що в таблиці надані коефіцієнти для більших ступеней витягування, ніж для даного стакану. Д16АМ має границю міцності σ_b рівну 145-225 МПа (за табл. 2.1), а сталь 08 – $\sigma_b = 320$ МПа (за ГОСТ 1050-88 [6, с. 79]), при цьому для даної сталі $\delta = 33\%$, а для алюмінієвого сплаву $\delta = 10\%$, але з врахуванням гартування відносне допустиме подовження може бути більшим.

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Тому в даному випадку значення у таблиці розглядаються як ті, що відповідають матеріалу заготовки. Приймаються коефіцієнти для умови відносної товщини заготовки $(s/D_{зг}) \cdot 100\% = 2\%$, хоча в реальності коефіцієнт можна приймати ще меншим, за табл. 45 [5, с. 118] дане значення наступне:

$$[m_1] \approx 0,46.$$

За формулою 2.21 визначається розрахунковий коефіцієнт витягування для першої операції:

$$m_{1,p} = \frac{13}{26,6} \approx 0,49,$$

Розрахунковий коефіцієнт порівнюється з допустимим визначеним табличним значенням:

$$m_{1,p} \approx 0,49 > [m_1] \approx 0,46,$$

Розрахований коефіцієнт більший за допустимий – фактична деформація менша за допустиму, а отже не потребується призначення додаткової операції і, відповідно, необхідний розмір стакану отримується після першої технологічної операції. Коефіцієнтом витягування призначається розраховане значення:

$$m_{1,p} = m_1 \approx 0,49.$$

За формулою 2.15 перевіряється необхідність використання притискача на першому переході:

$$26,6 - 13 = 13,6 < 22 \cdot 1 = 22.$$

Притискач не потрібний.

2.5.1.2.1.4. Розрахунок зусилля витягування та притискання

Для циліндричного без фланця типу деталі, що витягується, формула розрахунку зусилля при першому переході має наступний вигляд (за табл. 72 [5, с. 172]):

$$P_p = \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot \sigma_B \cdot k_1, \quad (2.23)$$

де P_p – розрахункове зусилля інструменту, Н;

$d_1 = d_{\pi} = 13$ мм – діаметр циліндричного напівфабрикату (по середній лінії) після витягування;

$\sigma_b = 225$ МПа (за табл. 2.1) – межа міцності матеріалу;

$s = 1$ мм – товщина матеріалу деталі;

k_1 – коефіцієнт для першого переходу.

Коефіцієнт для першої операції витягування циліндричних деталей зі сталей 08-10 (за табл. 73 [1, с. 173]) при відносній товщині заготовки $(s/D_{zg}) \cdot 100\% = 3,8\%$ та коефіцієнту першої витяжки $m_1 = 0,49$, має наступне значення:

$$k_1 \approx 1.$$

Дані сталі мають вищу границю міцності, ніж Д16АМ, але з врахуванням того, що стакан має значно малий радіус заокруглення між дном та стінкою, то тому значення обраного коефіцієнту не корегується.

Відповідно, розраховується зусилля:

$$P_p = \pi \cdot 13 \cdot 1 \cdot 225 \cdot 1 \approx 9\,189 \text{ Н} \approx 9,2 \text{ кН.}$$

2.5.1.2.1.5. Проектування інструментів

Найбільш відповідальними частинами робочих елементів штампу є їх поверхні, безпосередньо контактуючі під час витягування з матеріалом, що штампується: заокруглення, перехідні фаски, перетяжні пороги та інше. Від їх правильного оформлення в більшості залежить якість операцій витягування. [4, с. 290].

Радіуси заокруглень витяжних кромek матриці чинять значний вплив на процес витягування. Від них залежить: напруження в матеріалі, що витягується, та зусилля витягування; величину допустимого коефіцієнту витягування; уникнення обривів або складок. [5, с. 178]

2.5.1.2.1.5.1. Радіус заокруглення матриці

Радіус заокруглення робочого ребра матриці для даної операції r_{mn} (мм) на витяжному ребрі в загальному випадку визначається (за формулою 100 [4, с. 290]):

$$r_{mn} = 0,05 \cdot [50 + (d_{n-1} - d_n)] \cdot \sqrt{s}, \quad (2.24)$$

де d_{n-1} – діаметр напівфабрикату на $n-1$ (попередньому) переході, мм.
 Для першого переходу приймається діаметр заготовки $D_{зг} = 26,6$ мм;
 d_n – діаметр напівфабрикату на n (поточному) переході, мм.
 Приймається середній діаметр стакану $d_{\Pi} = 13$ мм;
 $s = 1$ мм – товщина матеріалу, що штампується, мм.

Для першого та єдиного переходу радіус робочої кромки наступний (за формулою 2.24):

$$r_M = 0,05 \cdot [50 + (26,6 - 13)] \cdot \sqrt{1} \approx 3,18 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$r_M = 3 \text{ мм.}$$

2.5.1.2.1.5.2. Радіус заокруглення пуансону

Приймається рівним внутрішньому радіусу заокруглення між стінкою та дном стакану:

$$r_{\Pi} = R = 1 \text{ мм.}$$

2.5.1.2.1.5.3. Виконавчі діаметральні розміри пуансону та матриці

Оскільки проектування інструментів відбувається з ціллю експериментального моделювання, тому враховувати допуски деталі немає сенсу, а отже формули для розрахунку наступні:

$$L_M = d_{зн.ст}, \quad (2.25)$$

$$L_{\Pi} = d_{зн.ст} - 2 \cdot z_{вт}, \quad (2.26)$$

де L_M – робочий розмір матриці, мм;
 L_{Π} – робочий розмір пуансону, мм;
 $d_{зн.ст}$ – зовнішній діаметр стакану після витягування, мм;
 $z_{вт}$ – односторонній зазор при витягуванні, мм.

$$d_{зн.ст} = d_{вн.ст} + 2 \cdot s, \quad (2.27)$$

$$d_{зн.ст} = 12 + 2 \cdot 1 = 14 \text{ мм.}$$

$$L_M = d_{зн.ст} = 14 \text{ мм.}$$

Зазор z_{BT} при витягуванні круглих деталей без потоншення матеріалу, для алюмінію знаходиться наступним чином [4, с. 287]:

$$z_{\text{BT}} = s + 0,02 \cdot \sqrt{10 \cdot s}, \quad (2.28)$$

$$z_{\text{BT}} = 1 + 0,02 \cdot \sqrt{10 \cdot 1} \approx 1,06 \text{ мм.}$$

Однак через відхилення від номінального значення товщини, які можуть направлені як в сторону зменшення, так і в сторону збільшення, рішення даного питання часто ставлять в залежність від конкретних поставок матеріалу, що характеризуються певними допусками. [4, с. 287]

Окрім цього, на основі експериментальних даних встановлено, що середнє значення зазору на останній операції витягування має знаходитися в наступних межах [4, с. 287]:

$$z_{\text{BT.e}} = (1,0 \dots 1,1) \cdot s, \quad (2.29)$$

$$z_{\text{BT.e}} = (1,0 \dots 1,1) \cdot 1 = 1,0 \dots 1,1 \text{ мм.}$$

Порівнюється розраховане за загальною формулою 2.28 значення зазору та рекомендоване для конкретної операції, що за формулою 2.29:

$$z_{\text{BT}} = 1,06 \text{ мм} \in z_{\text{BT.e}} = 1,0 \dots 1,1 \text{ мм.}$$

Розрахована за загальною формулою величина зазору знаходиться в межах рекомендованих значень. Остаточню приймається:

$$z_{\text{BT}} = 1,1 \text{ мм}$$

Відповідно, розміри пуансону:

$$L_{\text{П}} = d_{\text{ЗН}} - 2 \cdot z_{\text{BT}} = 14 - 2 \cdot 1,1 = 11,8 \text{ мм.}$$

2.5.1.2.1.6. Конструювання інструментів

Всі інші розміри, такі як ширина матриці та висота інструментів приймаються констркуктивно. Інструменти конструюються в CAD-системі SOLIDWORKS для подальшого імпорту при моделюванні формозмінної операції.

2.5.1.2.1.7. Налаштування задачі та моделювання процесу витягування

Для моделювання та подальшого аналізу результатів даного процесу використовується програмне середовище DEFORM.

При налаштуванні задачі використовуються наступні параметри:

- Вісесиметрична задача 2D;
- Пластичний тип заготовки;
- Кількість елементів сітки в заготовці – 1261;
- Матеріал заготовки – Al-2024;
- Температура навколишнього середовища та матеріалу – 20 С°;
- Швидкість переміщення пуансону – 10 мм/с;
- Умова зупинки моделювання – досягнення величини робочого ходу головним інструментом;
- Моделювання критерію руйнування за «Normalized Cockcroft-Latham»;

Для операції витяжки бажано використовувати змащення для зниження сил тертя між заготовкою та інструментом. Оскільки Д16АМ плакований, що значить, що зовнішній шар складається з чистого алюмінію, а тому коефіцієнт тертя має прийматися не як для дюралюмінію, а як для алюмінію.

При використанні мастила з наповнювачем з крейди та графіту при витягуванні алюмінієвого матеріалу значення коефіцієнту тертя становить 0,10 [8, с. 107].

Задається коефіцієнт тертя по Кулону рівний 0,10.

Розмір по висоті найменшого елемента сітки заготовки має приблизно наступне значення (рис. 2.7):

$$r_{min} \approx 0,065 \text{ мм.}$$

Приріст кроку розраховується за відповідними рекомендаціями, де необхідно, щоб за один крок інструмент проходив 1/3 від розміру найменшого елемента [7, с. 22]:

$$S_s = \frac{1}{3} \cdot r_{min} \quad (2.30)$$

де S_s – відстань, яку проходить інструмент за один крок, мм;
 $r_{\min}$ – мінімальний розмір елемента сітки, мм.

Step -1

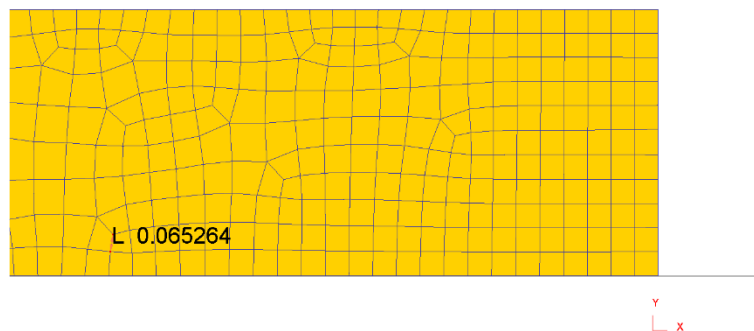


Рис. 2.7 Визначення розмірів елемента сітки по висоті

Відповідно, величина приросту кроку наступна:

$$S_s = \frac{1}{3} \cdot 0,065 = 0,0216 \text{ мм.}$$

Приймається $S_s = 0,02$ мм.

Розраховується необхідна кількість кроків:

$$N = \frac{x}{S_s}, \quad (2.31)$$

де x – робочий хід інструменту, мм.

Робочий хід пуансону x має бути таким, щоб гарантовано забезпечити отримання напівфабрикату розрахованої висоти, необхідно, щоб процес витягування завершився не раніше ніж верхній торець деталі пройде радіус заокруглення робочої кромки матриці. Робочий хід інструменту приймається наступним:

$$x_1 = 16 \text{ мм}$$

$$N = \frac{16}{0,02} \approx 800.$$

Приймається кількість кроків $N = 800$.

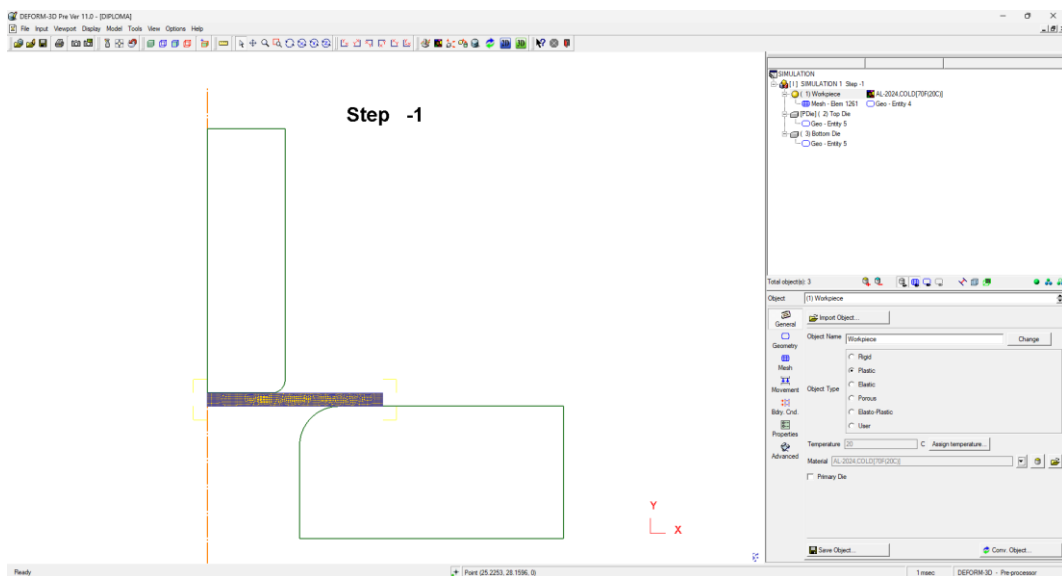


Рис. 2.8 Налаштована задача у програмному середовищі DEFORM

Задача налаштована (рис. 2.8).

Генерується база даних та моделюється задача.

2.5.1.2.1.8. Аналіз результатів

2.5.1.2.1.8.1. Критерій руйнування

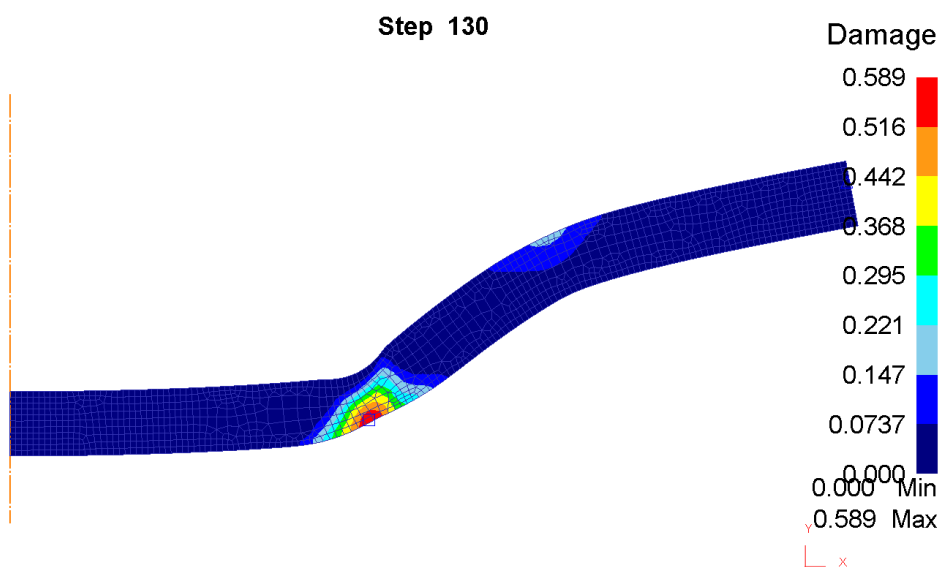


Рис. 2.9 Схема розподілу значень критерію руйнування в деформованій заготовці при витягуванні

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

33

При переміщенні верхнього інструменту на 2,6 мм, значення критерію руйнування на зовнішньому радіусі напівфабрикату досягає 0,589 (рис. 2.9).

Згідно дослідження граничних значень критеріїв руйнування, величина Normalized Cockcroft-Latham вище значення 0,55 відповідає початку руйнування (локалізації деформацій) матеріалу [9, с. 28 (7)]. Відповідно подальше формування буде супроводжуватися відривом дна. Тому дані геометричні параметри стакану, що відповідають геометрії носової частини нервюри крила, не забезпечують технологічність.

Конструкція деталі потребує змін. Підходи щодо забезпечення технологічності деталі за рахунок зміни геометричних параметрів та моделювання формозмінних процесів розглянуті у наступному розділі.

2.5.1.2.2. Гнуття

Верхня та нижня поверхні нервюри формуються за рахунок гнуття

Одна з основних вимог технологічності для процесу гнуття – відповідність радіусу гнуття значенням, за яких забезпечується згин заготовки без її руйнування. Слід уникати занадто малих радіусів гнуття. Використання їх найменших значень допускається лише у випадках крайньої конструктивної необхідності. [4, с. 170]

Значення найменшого радіусу r в залежності від властивостей матеріалу визначають за наступною формулою (для гнуття поперек волокон матеріалу) [4, с. 170]:

$$r_{min} = \frac{1 - 2 \cdot \varphi_{max}}{2 \cdot \varphi_{max}} \cdot s, \quad (2.32)$$

де φ_{max} – найбільше допустиме відносне звуження поперечного перерізу матеріалу при розтягу;

s – товщина матеріалу, мм.

Однак, оскільки розмір зазначеного радіусу залежить не тільки від властивостей матеріалу в заданому стані (відпалений, пом'якшений, наклепаний і т. д.), але і від напрямку гнуття, стану кромки заготовки, наявності мастильного

матеріалу і якості змащування, якості поверхні робочих елементів штампу, швидкості деформування та інших факторів, найменше його значення слід приймати за результатами відповідних експериментів. [4, с. 170]

При цьому відносно звуження поперечного перерізу Д16АМ не регламентується, а тому необхідно провести додаткове дослідження.

При конструюванні деталей, що виготовляються гнуттям в штампах, необхідно також враховувати, що в результаті вигину заготовки, що має прямокутний переріз, спотворюється останнє. При цьому спотворення тим більше, що менше відношення s/V . При згинанні широких смуг з $V > 2s$ можна вважати, що $V_{ср}/V = 1$, і при цьому значення V' і V'' мало відрізняються від V . Відбувається лише потоншення заготовки до товщини s' . [4, с. 170]

Відповідно до рекомендованих найменших значень відносного радіусу гнуття r_{min}/s за таблицею 1. [4, с. 174] визначається технологічність радіусу гнуття заданої деталі. В даній таблиці розглядаються різні випадки стану матеріалу (термічної обробки), розташування задирків по відношенню до інструментів та розташування лінії згину по відношенню до напрямку волокон прокату.

Попередньо вже визначено, що використовується відпалений дюралюміній, який перед штампуванням буде гартований, але за короткий проміжок часу зміцнення не відбудеться, тому розглядається відпалений стан матеріалу.

Призначена технологія за рахунок лазерного різання дозволяє отримати як фігурні, так і з гострими кутами контури високої точності та без задирків.

З врахуванням обраної технології розділової операції приймається варіант з найбільш сприятливими умовами, який дає менші допустимі значення відносного радіусу.

Визначається відносний радіус гнуття деталі.

$$\frac{R}{s}, \quad (2.33)$$

де $R = 1 \text{ мм}$ – радіус гнуття деталі відповідно до її схеми (рис. 2.2);

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$s = 1 \text{ мм}$ – товщина матеріалу.

$$\frac{R}{s} = \frac{1}{1} = 1.$$

Для відпаленого або нормалізованого стану матеріалу розглядається три випадки розташування лінії гнуття по відношенню до напрямку волокон прокату та найбільш сприятлива умова – звернення задирків до пуансону, хоча при розкрою лазером задирки відсутні.

1) Задирки на заготовці звернені до пуансону

За табл. 2 [4, с. 174] для сплаву Д16А, який є подібним до Д16АМ допустимі відносні радіуси гнуття наступні:

$$r_{\min 90^\circ}/s = 1,$$

$$r_{\min 45^\circ}/s = 1,2,$$

$$r_{\min 0^\circ}/s = 1,5,$$

де $r_{\min 90^\circ}/s$ – мінімальний допустимий відносний радіус гнуття при розташуванні лінії гнуття по відношенню до напрямку волокон прокату під кутом 90° ;
 $r_{\min 45^\circ}/s$ – мінімальний допустимий відносний радіус гнуття при розташуванні лінії гнуття по відношенню до напрямку волокон прокату під кутом 45° ;
 $r_{\min 0^\circ}/s$ – мінімальний допустимий відносний радіус гнуття при розташуванні лінії гнуття по відношенню до напрямку волокон прокату під кутом 0° (паралельно).

Необхідне виконання наступної умови:

$$R/s \geq r_{\min}/s, \quad (2.34)$$

$$R/s = 1 \geq r_{\min 90^\circ}/s = 1,$$

$$R/s = 1 \geq r_{\min 45^\circ}/s = 1,2,$$

$$R/s = 1 \geq r_{\min 0^\circ}/s = 1,5.$$

Тільки за умови гнуття перпендикулярно волокнам прокату забезпечується технологічність.

Оскільки контур нервюри деталі є фігурним і тому лінія гнуття знаходиться під різним кутом до волокон прокату вздовж даного контуру, що унеможливорює розташування лінії гнуття тільки перпендикулярно до волокон прокату. Отже технологічність радіусу заокруглення не забезпечена і потребує конструктивних змін.

2.5.1.2.2.1. Моделювання процесу гнуття у середовищі DEFORM

2.5.1.2.2.1.1. Конструювання інструментів

До конструктивно-технологічних елементів інструментів для гнуття належать: зазори, радіуси заокруглень матриць, глибина робочої порожнини та інші елементи робочих частин штампу, від правильного виконання яких залежать нормальний хід процесу гнуття та якість деталей. [5, с. 74]

У випадку гнуття невеликих деталей радіус заокруглення матриці зазвичай приймають за наступним розрахунком [5, с. 74]:

$$r_m = (2 \dots 3) \cdot s, \quad (2.35)$$

$$r_m = 3 \cdot 1 = 3 \text{ мм.}$$

Радіус заокруглення в заглибленні матриці розраховується наступним чином [5, с. 74]:

$$R_m = (0,6 \dots 0,8) \cdot (r + s), \quad (2.36)$$

де $r = 1 \text{ мм}$ – радіус гнуття, мм.

$$R_m = 0,8 \cdot (1 + 1) = 1,6 \text{ мм.}$$

За табл. 27 [5, с. 74] при V-подібному гнутті (І-тип матриці за рис. 70 [5, с. 75]) та товщини матеріалу $s = 1 \text{ мм}$, надаються наступні параметри:

$$h_m = 4 \text{ мм,}$$

$$H_m = 20 \text{ мм,}$$

де r_m – радіус заокруглення матриці, мм;

h_m – глибина заглиблення в матриці, мм.

H_m – товщина матриці, мм.

Для визначення можливого руйнування деталі у середовищі DEFORM кут пружинення не враховується, тому кут пуансону та матриці рівні куту деталі – 90° .

Зовнішні кромки пуансону та матриці заокруглюються по прийнятому конструктивно значенню – 1,6 мм.

Ширина матриці приймається такою, щоб забезпечити мінімальний оптимальний горизонтальний контакт заготовки з інструментом через особливості програми DEFORM:

$$w_M = 20 \text{ мм.}$$

За результатами розрахунків будується схема матриці (рис. 2.10)

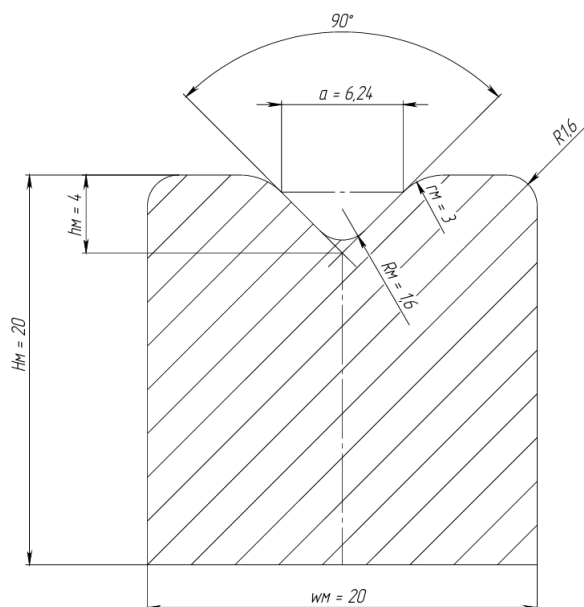


Рис. 2.10 Схема матриці

Радіус заокруглення робочого куту пуансону приймають рівним необхідному радіусу заокруглення кута деталі, що штампується [4, с. 194]:

$$R_{\Pi} = 1 \text{ мм.}$$

Визначається відстань між двома крайніми верхніми точками прямих відрізків заглиблення в матриці, що являє собою ширину робочої частини інструменту (рис. 2.10):

$$a = 6,24 \text{ мм.}$$

Ширина пуансону має бути меншою за визначену ширину робочої частини матриці, тому конструктивно приймається наступне значення:

$$w_{\Pi} = 5 \text{ мм.}$$

Конструктивно приймається висота пуансону:

$$H_{\Pi} = 15 \text{ мм.}$$

За результатами визначених розмірів будується схема пуансону (рис. 2.11)

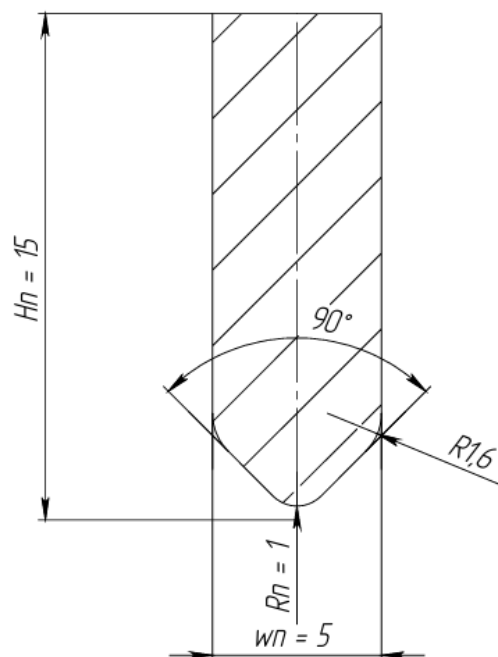


Рис. 2.11 Схема пуансону

2.5.1.2.2.1.2. Налаштування та моделювання процесу гнуття

При налаштуванні задачі використовуються наступні параметри:

- Плоска задача 2D;
- Пластичний тип заготовки;
- Кількість елементів сітки в заготовці – 2678;
- Матеріал заготовки – Al-2024;

- Температура навколишнього середовища та матеріалу – 20 С°;
- Швидкість переміщення пуансону – 10 мм/с;
- Умова зупинки моделювання – досягнення величини робочого ходу головним інструментом;
- Моделювання критерію руйнування за «Normalized Cockcroft-Latham»;
- Коефіцієнт тертя за Кулоном – 0,10.

Розмір по висоті найменшого елемента сітки заготовки (рис. 2.12):

$$r_{min} \approx 0,14 \text{ мм.}$$

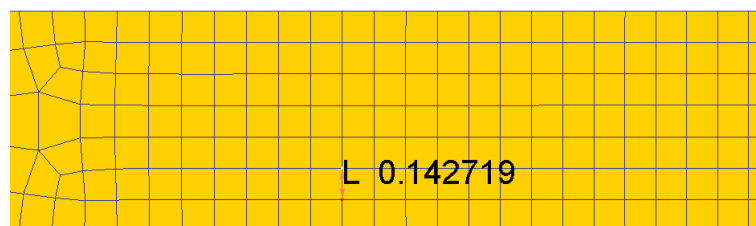


Рис. 2.12 Визначення розмірів елемента сітки по висоті

Розраховується приріст кроку (за форм. 2.30):

$$S_s = \frac{1}{3} \cdot 0,14 = 0,0466 \text{ мм.}$$

Приймається $S_s = 0,046 \text{ мм.}$

Робочий хід пуансону визначається графічно (рис. 2.13) і дорівнює:

$$x \approx 3,2 \text{ мм.}$$

Знаходиться необхідна кількість кроків (за форм. 2.31):

$$N = \frac{3,2}{0,046} \approx 69,6.$$

Приймається кількість кроків $N = 70.$

Задача налаштована (рис. 2.14).

Генерується база даних та моделюється задача.

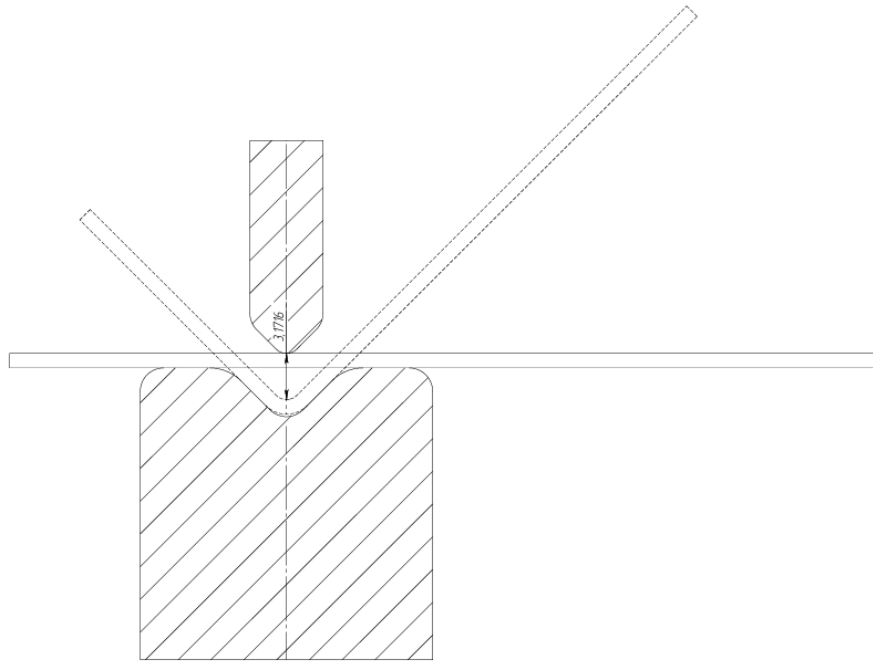


Рис. 2.13 Визначення робочого ходу пуансону

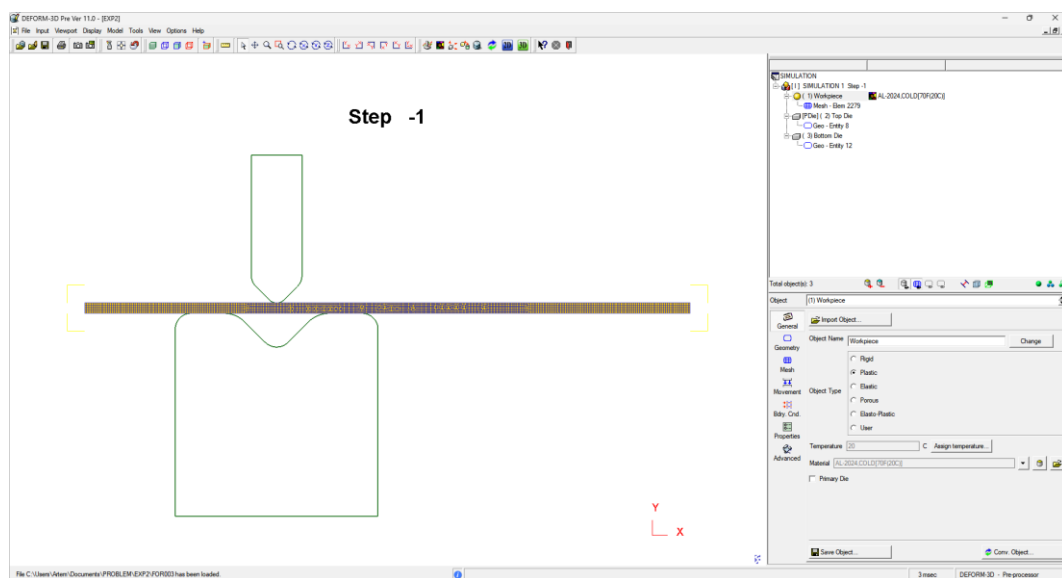


Рис. 2.14 Налаштована задача у програмному середовищі DEFORM

2.5.1.2.2.1.3. Аналіз результатів

Аналізується схема розподілу значень критерію руйнування (рис. 2.15).

Максимальне значення критерію руйнування, що становить 0,566, знаходиться на середині поверхні зовнішнього радіусу (рис. 2.15). Розташування

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист
41

максимального значення критерію руйнування спричиняється теоретичною наявністю найбільших деформацій та розтягуючих напружень в даному місці.

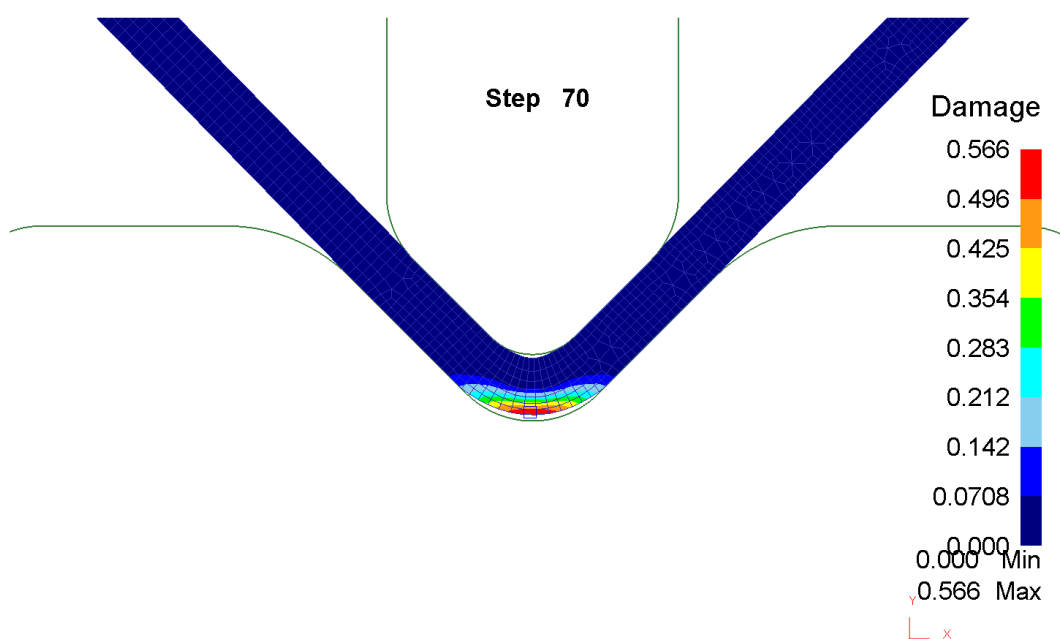


Рис. 2.15 Схема розподілу значень критерію руйнування в деформованій заготовці при витягуванні

Грунтуючись на дослідженні «ГРАНИЧНІ ЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ РУЙНУВАННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ВИТЯГУВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ DEFORM» [9], де за результатами числових експериментів встановлено, що при моделюванні в DEFORM 2D граничні значення критерію Normalized Cockcroft-Latham знаходяться в межах 0,5...0,55 [9, с. 28 (8)]. Отримане максимальне значення критерію руйнування «Normalized Cockcroft & Latham» при проведенні процесу V-подібного однокуткового гнуття становить 0,566, що більше за граничне значення. Виходячи з цього, наявний радіус заокруглення між дном та зовнішнім бортом нервюри крила вимагає корегування, оскільки можливе утворення дефектів.

Необхідно збільшити радіус заокруглення в деталі. Оскільки носова частина нервюри розглядалася як процес витяжки, який більш вимогливий до радіусів заокруглення, то рекомендовано збільшити радіус по всьому контуру

відповідно до технологічної величини, що забезпечить витягування носової частини.

2.5.2. Рельєфне формування

За рахунок рельєфного формування у нервюрі крила сформовані три ребра жорсткості.

Найбільша глибина ребра жорсткості, яка може бути отримана в результаті рельєфного формування деталей з алюмінію може бути орієнтовно визначена за наступною формулою (за форм. 19 [4, с. 337]):

$$H_{p.1} = \frac{B_p \cdot s}{s + 2,5}, \quad (2.37)$$

де B_p – ширина ребра;

$s = 1$ мм – товщина матеріалу, що штампується.

Згідно рис. 2.2 приймається найменша серед наявних ширина ребра, оскільки, відповідно, до формули 2.37 за меншого значення ширини ребра отримується менша допустима глибина ребра жорсткості:

$$B_p = 5,27 \text{ мм.}$$

$$H_{p.1} = \frac{5 \cdot 1}{1 + 2,5} \approx 1,5 \text{ мм}$$

Однак, для запобігання руйнування матеріалу рекомендується виконання наступної умови [4, с. 337]:

$$H_{p.2} \leq 2 \cdot s, \quad (2.38)$$

$$H_{p.2} \leq 2 \cdot 1 = 2 \text{ мм.}$$

Серед розрахованих величин приймається найменше:

$$H_{p.1} = 1,5 \text{ мм} \leq H_{p.2} = 2 \text{ мм.}$$

$$H_p = H_{p.1} = 1,5 \text{ мм.}$$

Порівнюється розраховане значення з дійсним:

$$H_p \leq H, \quad (2.39)$$

де $H = 0,5$ мм (за рис. 2.2) – дійсна глибина ребра жорсткості.

$$H_p = 1,5 \text{ мм} > H = 0,5 \text{ мм.}$$

Розрахована максимальна допустима глибина ребра жорсткості значно більше за дійсну величину, а отже технологічність даного параметру забезпечена.

Для радіусу заокруглення, що формується ребром матриці відповідно до схеми (на рис. 5 [4, с. 338]), має виконуватися наступна умова [4, с. 337]:

$$r \geq s, \quad (2.40)$$

де $r = 1 \text{ мм}$ (за рис. 2.2) – радіус заокруглення на ребрі жорсткості, що формується кромкою матриці.

$$1 \text{ мм} \geq 1 \text{ мм}.$$

Умова виконується.

Повна технологічність ребер жорсткості забезпечена.

2.5.3. Загальний висновок по технологічності деталі

Нервюра крила має носову частину, поточна технологічність якої є невідповідною та потребує глибшого дослідження. Аналіз можливих підходів, формування та або зміни окремих конструктивних параметрів буде наведений у наступному розділі. У разі неможливості сформувати носову частину нервюри крила зі зміненими конструктивними параметрами, необхідно розглянути метод зазначений в розділі з літературного огляду, де зовнішній борт розділяється за рахунок формування окремих полицок у носовій частині нервюри (рис. 1.2 та 1.3) або утворення пазу в даному місці (рис. 1.4). Але ці конструктивні зміни призводять до погіршення властивостей деталі щодо передачі зсувних потоків жорсткості та збільшення концентраторів напружень.

У деталі наявний внутрішній радіус заокруглення зовнішнього борту, технологічність якого не забезпечується та потребує змін. Частини зовнішнього борту формуються процесом подібним до витягування та гнуття. Процес витягування вимагає більші радіуси заокруглення, ніж гнуття. Рекомендовано, якщо конструктивні вимоги дозволяють, збільшити внутрішній радіус заокруглення по усьому контуру відповідно до технологічних вимог витягування. В іншому випадку використовувати перехідний радіус

заокруглення між частинами зовнішнього контуру, що формуються витягуванням та гнуттям.

Внутрішнє відборткування круглих отворів та рельєфне формування згідно довідникових даних є технологічними.

2.6. Моделювання формозмінних операцій в середовищі DEFORM

В даному розділі досліджуються різні конструктивні підходи для забезпечення технологічності елементів нервюри крила.

2.6.1. Носова частина нервюри

Згідно попереднього проведеного технологічного аналізу та моделювання витягування стакану, що імітує геометричні параметри носові частини нервюри, було доведено не технологічність даного елементу деталі.

Буде виконано експериментальне моделювання процесу витягування стакану в середовищі DEFORM для дослідження максимальної висоти носової частини нервюри, яку можна буде витягнути за внутрішніх радіусів заокруглення 1, 2 та 3 мм.

Додатково використовується притискач донної частини для отримання плоскої поверхні дна стакану. Експериментально було визначено мінімальне необхідне зусилля притискача, яке дорівнює 500 Н.

З метою досягнення більшої висоти стакану прийнято зазор рівний товщині матеріалу:

$$z_{\text{BT}} = s = 1 \text{ мм}$$

За такого підходу потовщена в процесі витягування у верхній частині стакану стінка потоншується за такого зазору, що дає приріст по висоті.

Для аналізу використовується енергетичний критерій Normalized Cockcroft-Latham, який за замовчуванням встановлений у програмному комплексі DEFORM. Відповідно до досліджень, граничне значення даного енергетичного критерію руйнування знаходиться в межах 0,5...0,55 [9, с. 28 (7)].

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Метою моделювання є підбір найбільшого можливого діаметру заготовки для конкретного внутрішнього радіусу заокруглення, за якого максимальне значення критерію руйнування не перевищує граничне.

Загальні параметри для всіх задач:

- Вісесиметрична задача 2D;
- Пластичний тип заготовки;
- Кількість елементів сітки в заготовці – приблизно 1000 елементів;
- Матеріал заготовки – Al-2024;
- Температура навколишнього середовища та матеріалу – 20 С°;
- Швидкість переміщення пуансону – 10 мм/с;
- Моделювання критерію руйнування за «Normalized Cockcroft-Latham»;
- Коефіцієнт тертя за Кулоном – 0,10.

2.6.1.1. Витягування стакану за внутрішнього радіусу заокруглення 1 мм

В результаті експериментального моделювання було отримано стакан висотою 4,5 мм (рис. 2.16) за досягнення максимального значення критерію руйнування, рівного 0,536 (рис. 2.17), що знаходиться на межі граничних значень 0,5...0,55. Враховуючи можливу наявність фестонів, які вимагають обрізки краю стакану, то його кінцева висота може бути меншою.

Найбільше потоншення матеріалу відбулося у місці радіусу заокруглення, де значення товщини склало 0,875 у відношенні до початкової (рис. 2.18), тобто 0,875 мм. З врахуванням зазору 1 мм при витягуванні найбільша товщина матеріалу не перевищила дане значення.

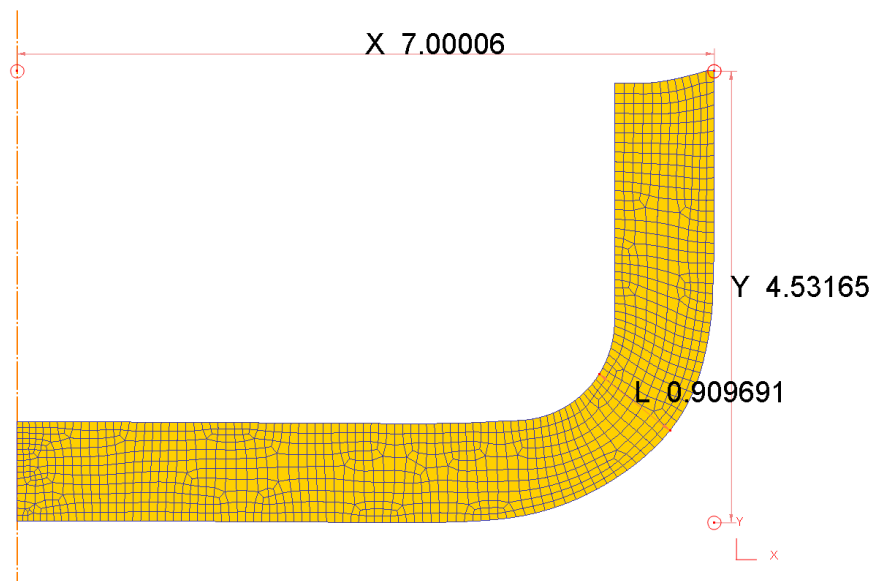


Рис. 2.16 Геометрія стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 1 мм

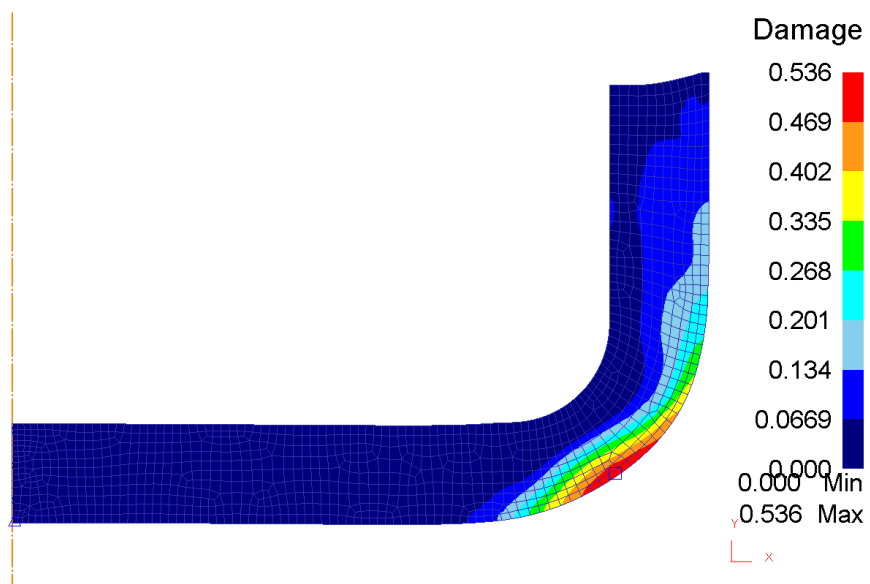


Рис. 2.17 Схема розподілу значень критерію руйнування стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 1 мм

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

47

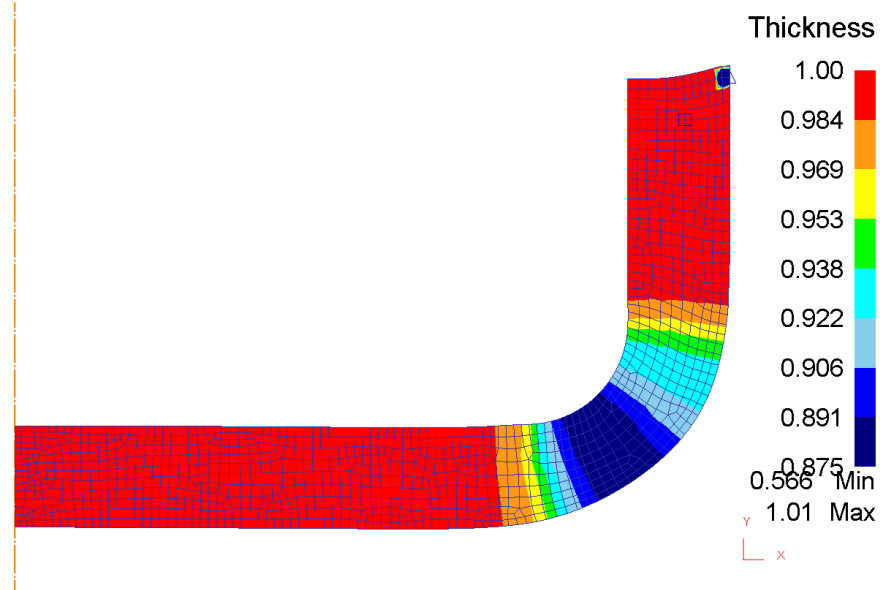


Рис. 2.18 Схема розподілу значень зміни товщини матеріалу стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 1 мм

На зовнішній стороні радіусу заокруглення значення інтенсивності деформацій досягає 0,468 мм/мм (рис. 2.19), в той час на стінці стакану значення досягає 0,654 мм/мм.

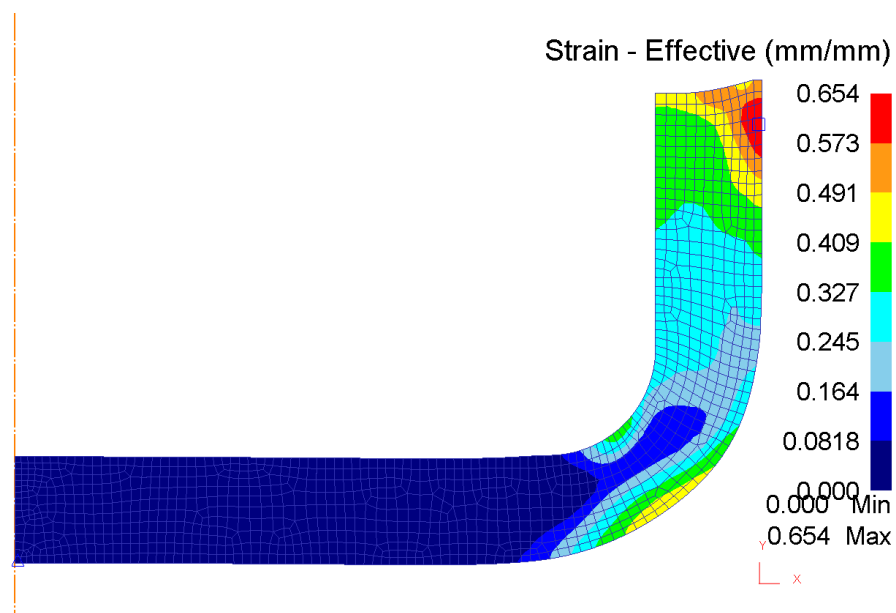


Рис. 2.19 Схема розподілу значень інтенсивності деформацій стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 1 мм

Максимальне зусилля витягування за даних параметрів склало 4,47 кН (рис. 2.20).

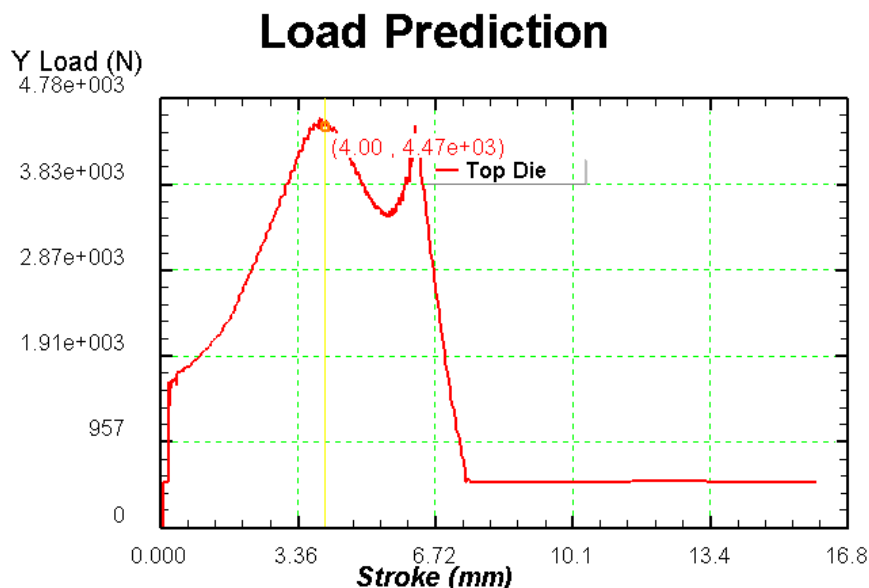


Рис. 2.20 Графік «Зусилля-Переміщення» при витягуванні стакану з внутрішнім радіусом заокруглення 1 мм

2.6.1.2. Витягування стакану за внутрішнього радіусу заокруглення 2 мм

За мінімального оптимального технологічного радіусу для операції витягування було отримано висоту стакану, рівну 10,49 мм (рис. 2.21). Найбільша величина критерію руйнування склала 0,502 (рис. 2.22), що знаходиться на початку граничних значень 0,5...0,55, тобто задовольняє умові відсутності руйнування чи початку руйнування матеріалу. Потоншення матеріалу на радіусі заокруглення відбулося наближено до 0,82 мм.

За довідниковими даними (за табл. 34 [5, с. 99]), у випадку наявних фестонів, після їх обрізки висота стакану може зменшитися до 9,3...9,5 мм. Дана висота вже наближена до необхідних 10 мм.

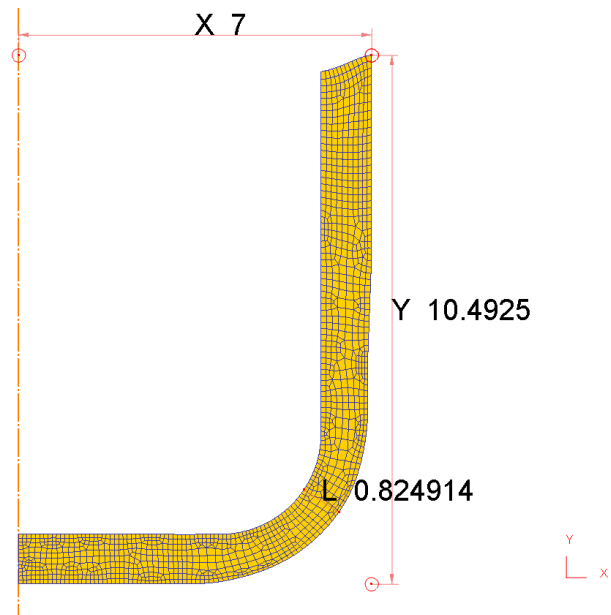


Рис. 2.21 Геометрія стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

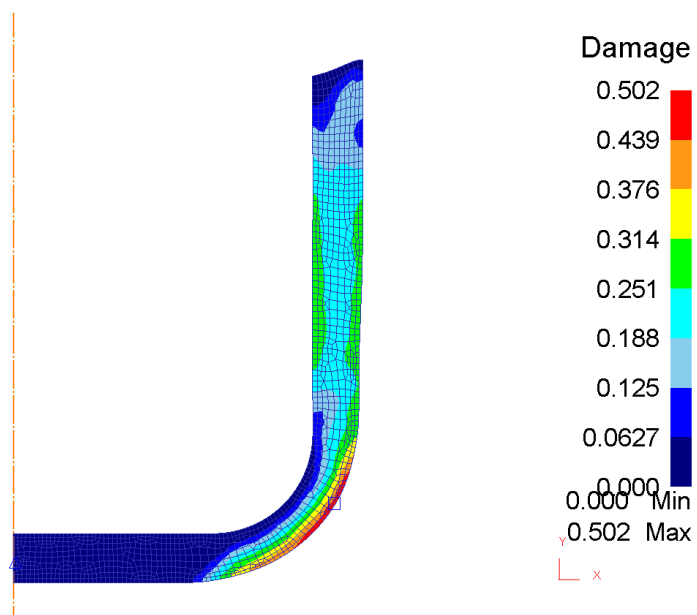


Рис. 2.22 Значення критерію руйнування стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

Найбільше потоншення матеріалу стакану відбулося до 0,816 мм у місці радіусу заокруглення (рис. 2.23)

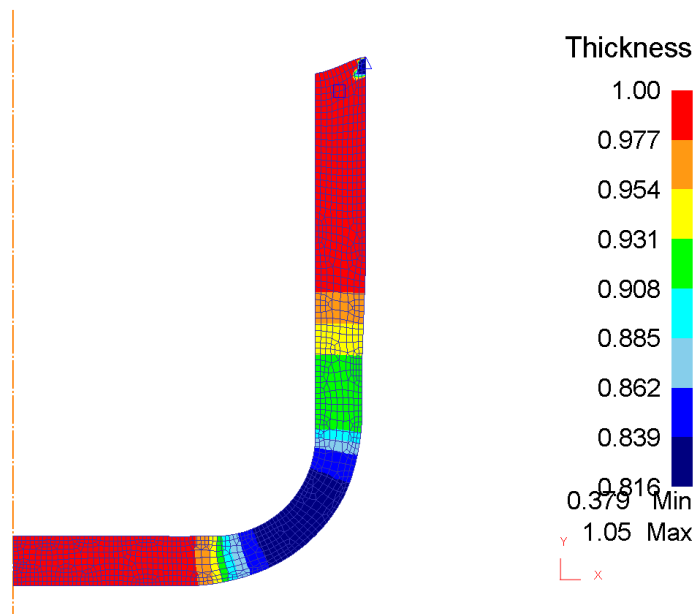


Рис. 2.23 Схема розподілу значень зміни товщини матеріалу стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

На радіусі заокруглення значення інтенсивності деформацій досягає 0,439 мм/мм, на стінці стакану значення досягає 1,07 мм/мм (рис. 2.24). У порівнянні з витягуванням стакану з радіусом заокруглення 1 мм значення інтенсивності деформацій при радіусі 2 мм на радіусі менші, що доводить отримане менше значення критерію руйнування. При порівнянні значень інтенсивності деформацій на стінці стакану, то тенденція інша – при радіусі 2 мм значення більше ніж при радіусі 1 мм, що пов'язано з більшою тангенціальною деформацією через більший початковий діаметр заготовки.

Найбільше значення зусилля витягування дорівнює 8,62 кН (рис. 2.25).

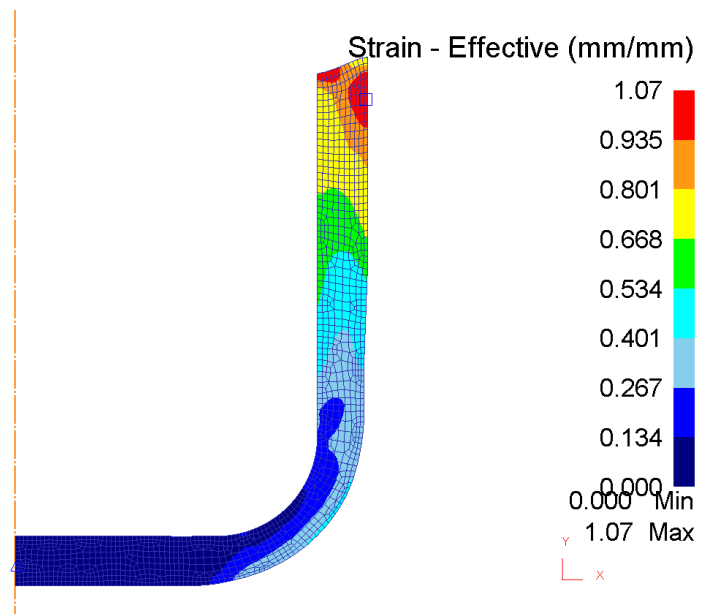


Рис. 2.24 Схема розподілу значень інтенсивності деформацій стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

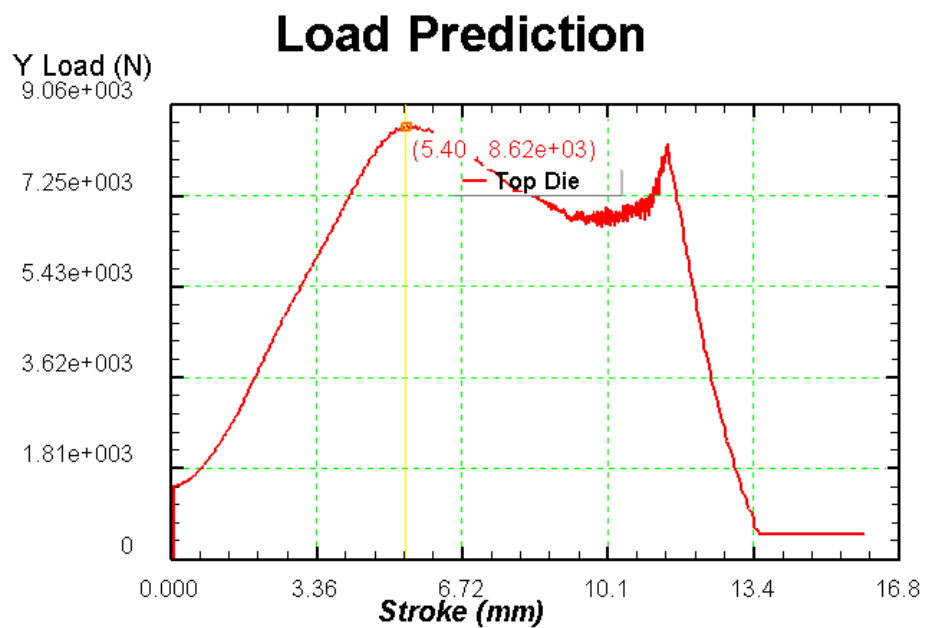


Рис. 2.25 Графік «Зусилля-Переміщення» при витягуванні стакану з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

52

2.6.1.3. Витягування стакану за внутрішнього радіусу заокруглення 3 мм

Найсприятливіші умови для витягування у порівнянні до попередніх чисельних експериментів притаманні радіусу 3 мм. Висота стакану у 12,84 мм (рис. 2.26) отримується за найвищого значення критерію руйнування, що дорівнює 0,468 (рис. 2.27) і яке є значно меншим за граничні 0,5...0,55. Це гарантує успішний технологічний процес витягування без виникнення дефектів. Незважаючи на відносно мале значення критерію руйнування у порівнянні до попередніх експериментів, збільшення діаметру заготовки на 0,2 мм вже спричиняє руйнування.

Для даної висоти стакану та співвідношення його висоти до середнього діаметру (за табл. 34 [5, с. 99]), фактична висота стакану після обрізування фестонів, які могли виникнути, буде становити приблизно 11,2...11,6 мм, що є більшим за необхідну висоту зовнішнього борту нервюри крила. Тобто даний радіус заокруглення є технологічним для даного випадку.

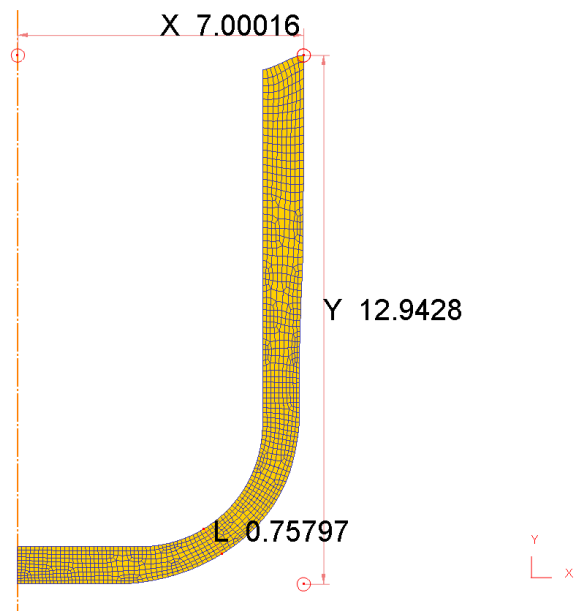


Рис. 2.26 Геометрія стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 3 мм

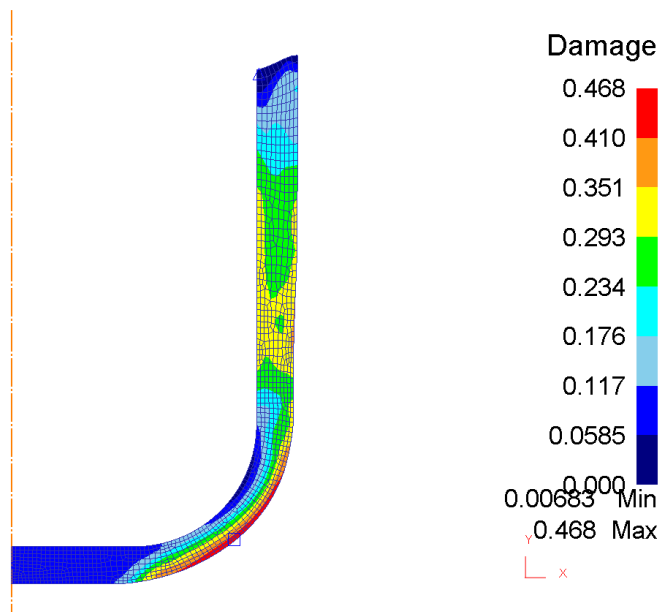


Рис. 2.27 Значення критерію руйнування стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 3 мм

В місці радіусу заокруглення відбулося найбільше потоншення матеріалу, що склало 0,756 мм (рис. 2.28).

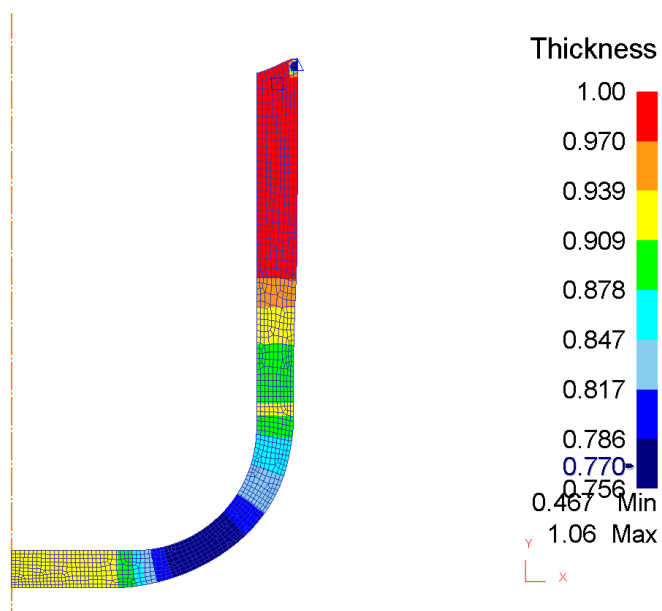


Рис. 2.28 Схема розподілу значень зміни товщини матеріалу стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 3 мм

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

54

При витягуванні стакану на зовнішній стороні радіусу заокруглення отримуються значення інтенсивності деформації, що досягають 0,418 мм/мм (рис. 2.29). У порівнянні з моделюванням процесу витягування з радіусами 1 мм та 2 мм, отримане в даній задачі значення інтенсивності деформацій є меншим і, відповідно, значення критерію руйнування менше. На стінці стакану значення інтенсивності деформації сягають 1,17 мм/мм (рис. 2.29).

В результаті моделювання максимальне зусилля витягування становить 9,61 кН (рис. 2.30).

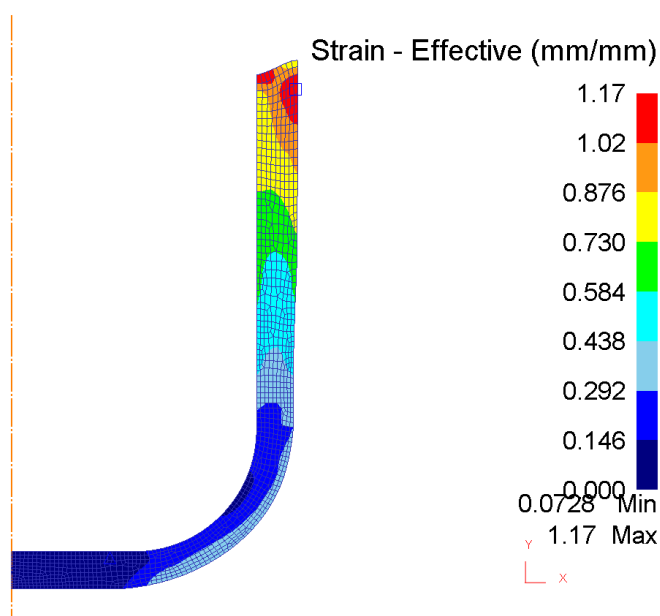


Рис. 2.29 Схема розподілу значень інтенсивності деформацій стакану при витягуванні з внутрішнім радіусом заокруглення 3 мм

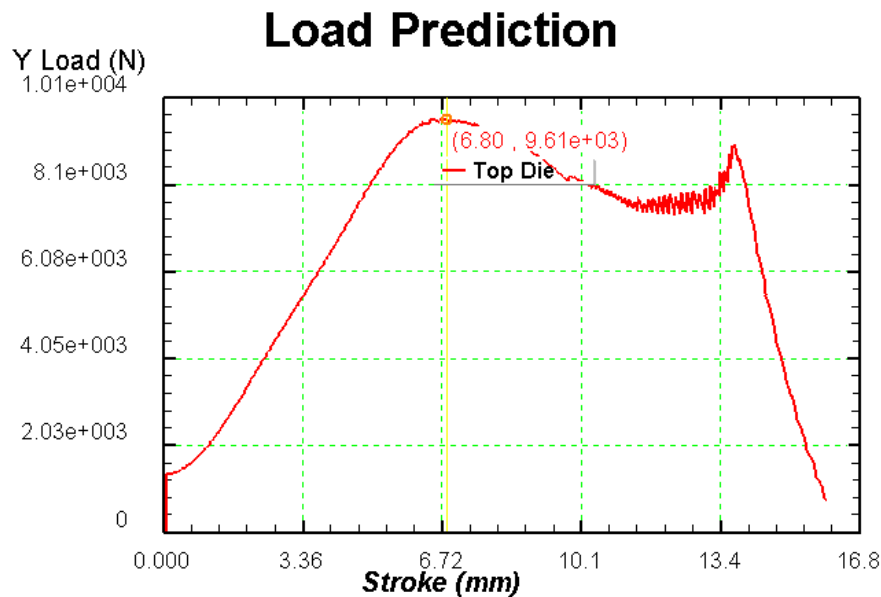


Рис. 2.30 Графік «Зусилля-Переміщення» при витягуванні стакану з внутрішнім радіусом заокруглення 3 мм

2.6.2. Гнуття

Внутрішній радіус заокруглення зовнішнього борту нервюри, що дорівнює 1 мм, не відповідає технологічності за результатами довідникових даних та числового моделювання, що було проведено у розділі з оцінки технологічності. Рекомендовано прийняти радіус заокруглення, рівний 2 мм, що відповідає найменшому оптимальному радіусу заокруглення для витягування носової частини нервюри крила.

Для налаштування задачі в програмі DEFORM прийнято наступні параметри:

- Плоска задача 2D;
- Пластичний тип заготовки;
- Кількість елементів сітки в заготовці – приблизно 1000 елементів;
- Матеріал заготовки – Al-2024;
- Температура навколишнього середовища та матеріалу – 20 C°;
- Швидкість переміщення пуансону – 10 мм/с;

- Моделювання критерію руйнування за «Normalized Cockcroft-Latham»;
- Коефіцієнт тертя за Кулоном – 0,10.

Результатом моделювання аналізується критерій руйнування (рис. 2.31), що дорівнює 0,408 і є меншим за граничні значення 0,5...0,55, відповідно, відсутність руйнування матеріалу забезпечена.

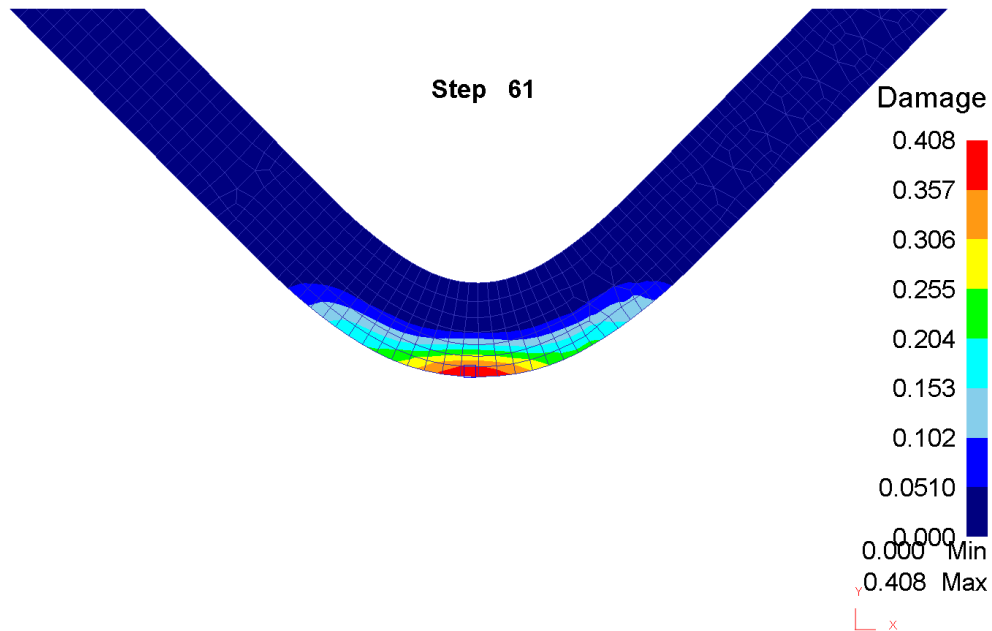


Рис. 2.31 Схема розподілу значень критерію руйнування напівфабрикату при V-подібному гнутті з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

Потоншення матеріалу відбувається до 0,981 мм у місці радіус заокруглення (рис. 2.32).

Максимальне значення інтенсивності деформації, що знаходиться на зовнішній поверхні радіусу заокруглення становить 0,356 мм/мм (рис. 2.33).

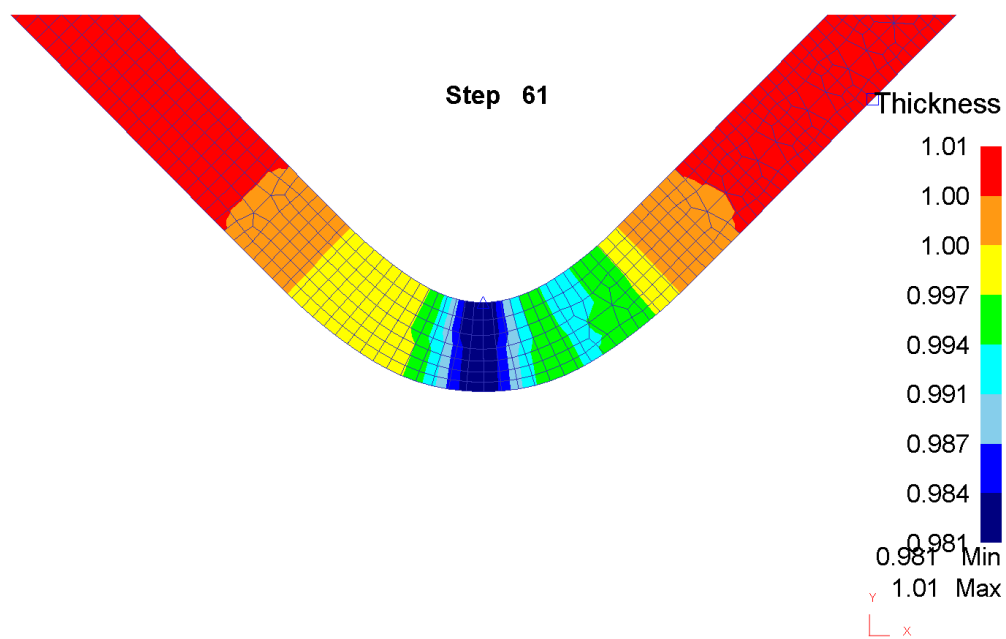


Рис. 2.32 Схема розподілу значень зміни товщини матеріал при V-подібному гнутті з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

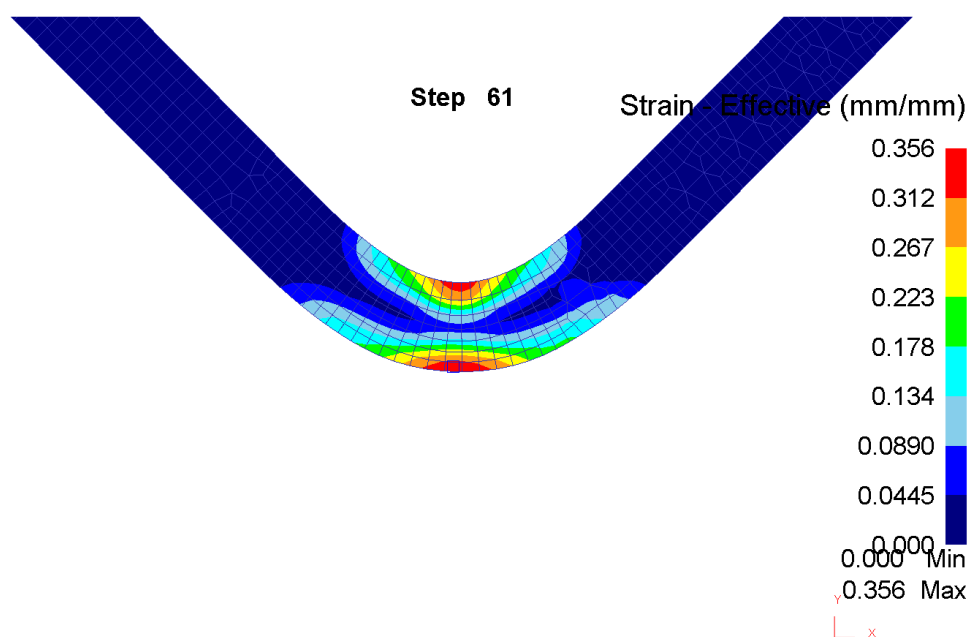


Рис. 2.33 Схема розподілу значень інтенсивності деформацій стакану при V-подібному гнутті з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

58

За результатами моделювання в кінці робочого калібрувального ходу зусилля досягає максимального значення і дорівнює 412 Н (рис. 2.34) на одиницю ширини.

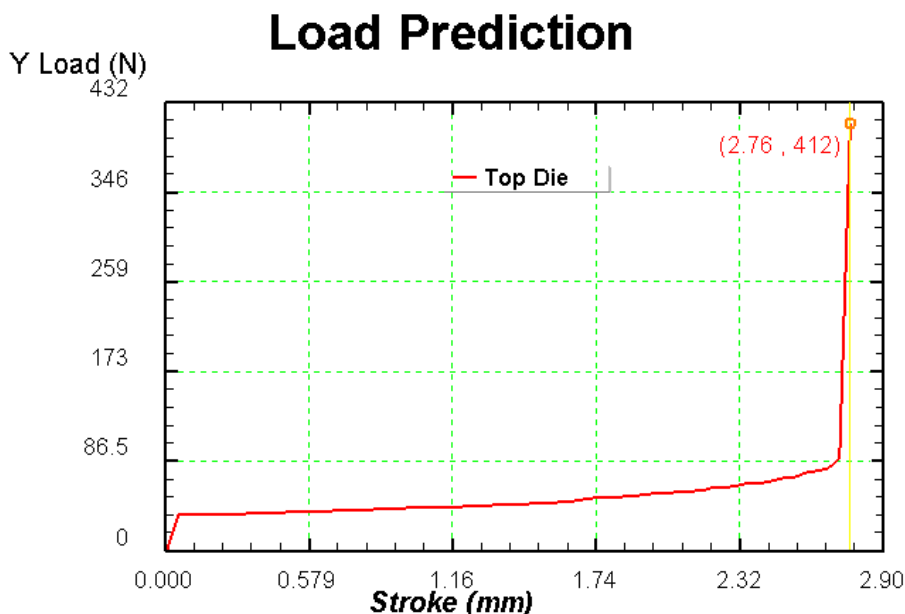


Рис. 2.34 Графік «Зусилля-Переміщення» при V-подібному гнутті з внутрішнім радіусом заокруглення 2 мм

2.6.3. Формування частини зовнішнього борту нервюри

В результаті попередніх експериментальних чисельних моделювань було визначено більш сприятливі умови формування зовнішнього борту деталі за більших внутрішніх радіусів заокруглення.

Для умов витягування в результаті моделювання мінімальним внутрішнім радіусом заокруглення, за якого гарантується відсутність дефектів, є значення 2 мм. Для умови гнуття за радіусу заокруглення рівному 2 мм отримується значення критерію руйнування, менше за граничні.

Хоча за результатами витягування стакану з радіусом 2 мм кінцева висота може становити трохи менше необхідної, але для умови витягування коробки, яка більш притаманна для формування зовнішнього борту, (за табл. 41 [5, с. 105])

при формуванні за одну операцію припуск на обрізку значно менший ніж для стакану і в результаті кінцева висота може складати приблизно 10...10,2 мм, що відповідає необхідній висоті.

Звертається увага на те, що при витягуванні коробки прямолінійні ділянки розвантажують заокругленні і, відповідно, за даного радіусу заокруглення можна витягнути коробку більшої висоти, ніж стакан.

Розглядається варіант радіусу заокруглення рівного 1,5 мм. Він є наближеним до початкового внутрішнього радіусу заокруглення деталі та знаходиться недалеко від «безпечного» радіусу – 2 мм, який був визначений за результатами попереднього моделювання.

Приймається рішення змодельовати в середовищі DEFORM тривимірне витягування зовнішнього борту нервюри в передній її частині з внутрішнім радіусом заокруглення – 1,5 мм, для оцінки можливості отримання деталі з даним радіусом.

З врахуванням підрізки фестонів, приймається необхідна висота борту, що дорівнює 11 мм.

2.6.3.1. Уточнення конструкції деталі

Відповідно до збільшених внутрішніх радіусів заокруглення уточняється CAD-модель деталі.

2.6.3.2. Створення розгортки деталі

Для таких операцій, як гнуття та витягування, деталь необхідно поділити на секції та визначати розгортку кожної через нейтральну лінію або площу по середині перерізу.

FTI FORMING SUIT є передовим програмним комплексом, який призначений для моделювання процесів штампування листового металу, оцінки технологічності та інших параметрів. Особливістю даної програми є можливість отримати точну розгортку деталі з її моделі.

Налаштування задачі в даній програмі відбувається наступним чином: завантажується CAD-модель деталі, після чого задається товщина, що дорівнює

					<i>ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

1 мм та матеріал, яким серед доступних у бібліотеці програми обирається AL-2024-O. Видом формування приймається витягування. Моделюється задача.

За результатами налаштування там моделювання задачі було отримано розгортку нервюри крила (рис. 2.35).

Оскільки моделювання буде виконуватися тільки частини деталі, то в CAD-системі SOLIDWORKS за розробленою розгорткою моделюється тільки її частина.

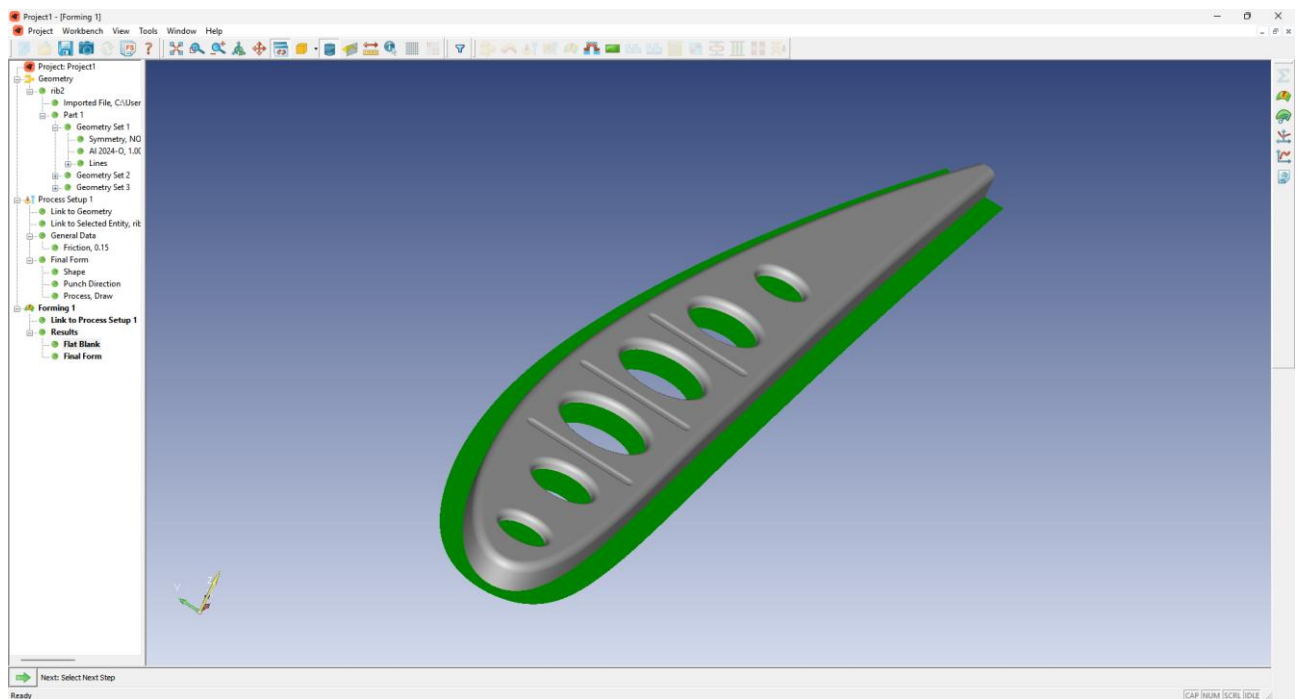


Рис. 2.35 Розроблення розгортки деталі в програмному комплексі FORMING SUIT

2.6.3.3. Проектування інструментів

Для програми DEFORM будуються примітивні пуансон та матриця.

В даному випадку рекомендується прийнятий односторонній зазор більший за товщину матеріалу для уникнення похибок під час моделювання:

$$z = 1,1 \cdot s = 1,1 \text{ мм.}$$

Робочий контур матриці повторює зовнішній контур нервюри крила, в задній частині заокруглення. Радіус робочих кромek – 3 мм.

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Пуансон будується по контур матриці з відповідним зазором. Радіус заокруглення робочої кромки відповідає внутрішньому радіусу заокруглення зовнішнього борту нервюри крила – 1,5 мм.

2.6.3.4. Налаштування задачі

Задаються наступні параметри в програмі DEFORM:

- Тривимірна задача 3D;
- Пластичний тип заготовки;
- Матеріал заготовки – Al-2024;
- Температура навколишнього середовища та матеріалу – 20 С°;
- Швидкість переміщення пуансону – 10 мм/с;
- Моделювання критерію руйнування за «Normalized Cockcroft-Latham»;
- Коефіцієнт тертя за Кулоном – 0,10;
- Приріст кроку – 0,1 мм/крок.

Імпортується геометрія заготовки та інструментів і позиціонується один відносно одного.

Генерується сітка, кількість елементів якої в результаті складає 53 088. Для оптимізації процесу моделювання використовується вікно щільності для збільшення кількості елементів у місці майбутнього радіусу деталі саме для отримання більш точних результатів та оптимізації моделювання. Завантажується попередньо розроблена геометрія для вікна щільності. Задається співвідношення елементів рівне 0,3 (рис. 2.35).

Оскільки моделюється процес формоутворення частини деталі, то заготовка фіксується по зрізаній площині по координаті, яка до неї перпендикулярна, для запобігання зсуву заготовки під час формоутворення (рис. 2.36).

Генерується база даних та моделюється задача.

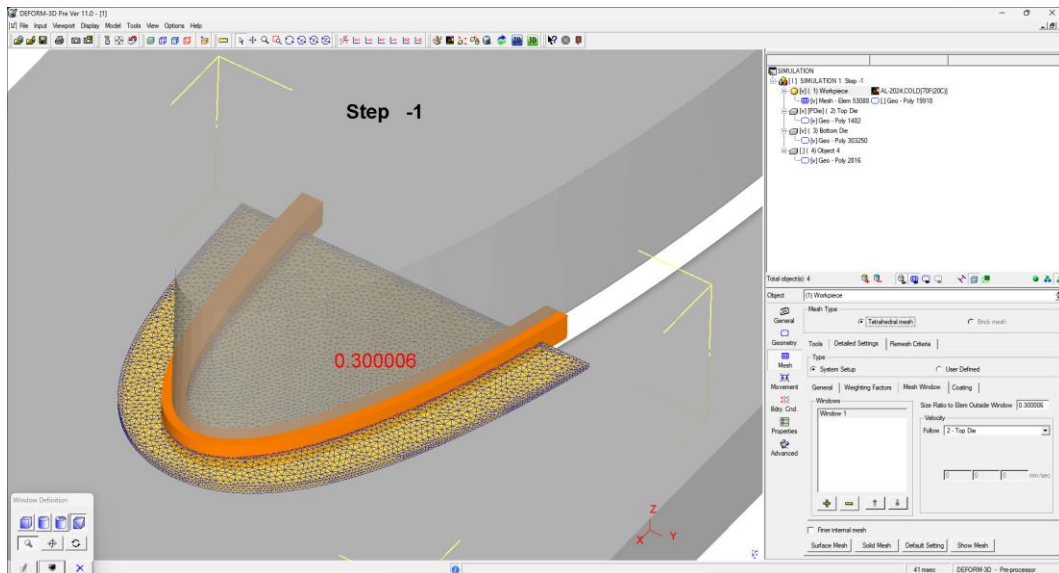


Рис. 2.35 Налаштування вікна щільності для оптимізації процесу моделювання

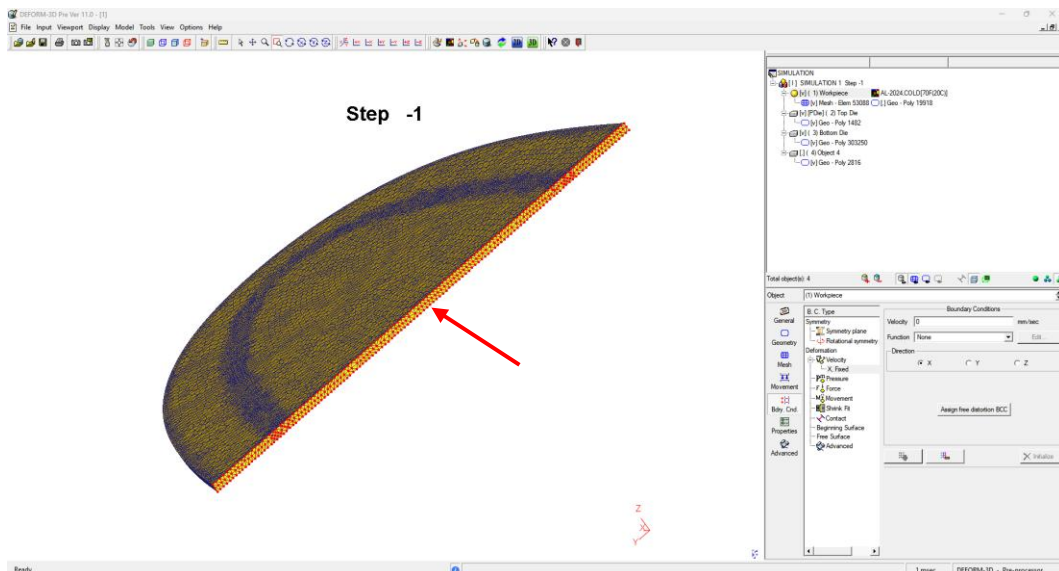


Рис. 2.36 Фіксація заготовки в площинні зрізу по осі для уникнення її переміщення під час формоутворення

2.6.4. Аналіз результатів

За результатами моделювання було отримано геометрію носової частини нервюри. Біля площини зрізу, де має бути продовження деталі, сформувалося вушко, що швидше за все є причиною фіксації заготовки по одній з осей і частина матеріалу, яка мала рухатися у напрямку зафіксованої осі, накопичилася на кромці сформованої частини деталі (рис. 2.38).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист
63

Висота носової частини нервюри складає приблизно 11,8 мм (рис. 2.38), що цілком забезпечує отримання необхідної висоти деталі після підрізки можливих фестонів.

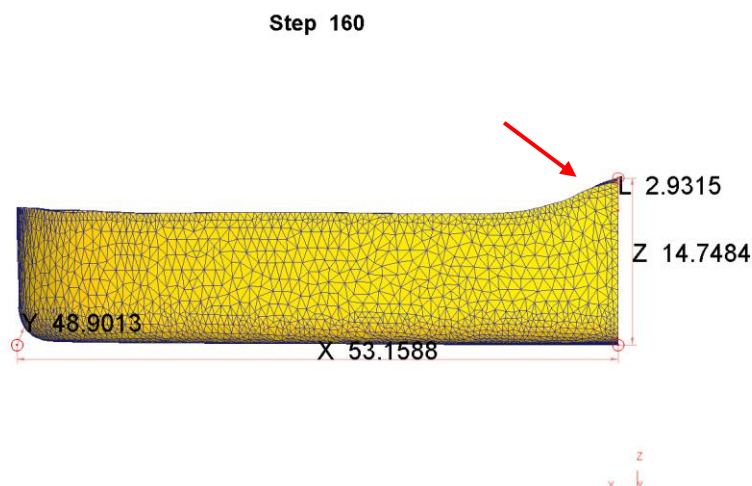


Рис. 2.38 Геометрія сформованої частини нервюри

Максимальне значення критерію руйнування при відкиданні аномальних точок приблизно складає 0,510 (рис. 2.39). В роботі з дослідження граничних значень критерію руйнування при тривимірному моделюванні граничне значення Normalized Cockcroft-Latham складає 0,6 [9, с. 28 (7)]. Тобто отримане в процесі моделювання значення критерію руйнування менше за граничне, що гарантує отримання деталі з прийняти внутрішнім радіусом заокруглення та необхідною висотою зовнішнього борту.

В зоні радіусу товщина матеріалу зменшилася до 0,85 мм (рис. 2.40), а на кромках матриці відбулося потовщення матеріалу до 1,1 мм.

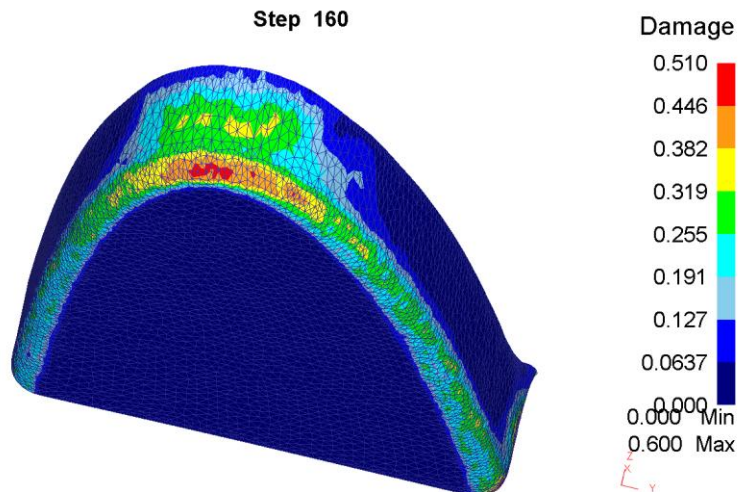


Рис. 2.39 Схема розподілу значень критерію руйнування сформованої частини нервюри

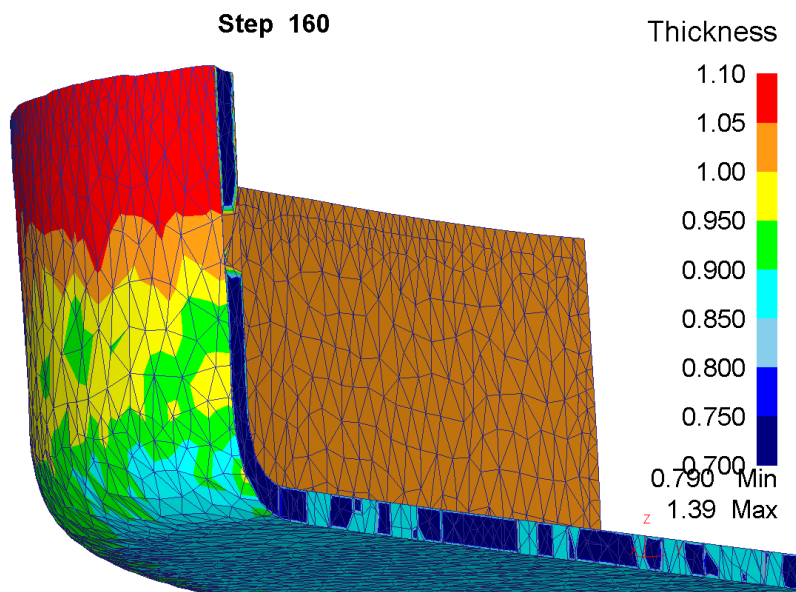


Рис. 2.40 Схема розподілу значень зміни товщини матеріал сформованої частини нервюри (в розрізі)

На зовнішній стороні радіусу носової частини значення інтенсивності деформацій досягає 0,427 мм/мм (рис. 2.41), а найбільше значення, що дорівнює 1,13 мм/мм, знаходиться на кромках борту.

Максимальне зусилля формоутворення носової частини нервюри приблизно склало 16 кН (рис. 2.42).

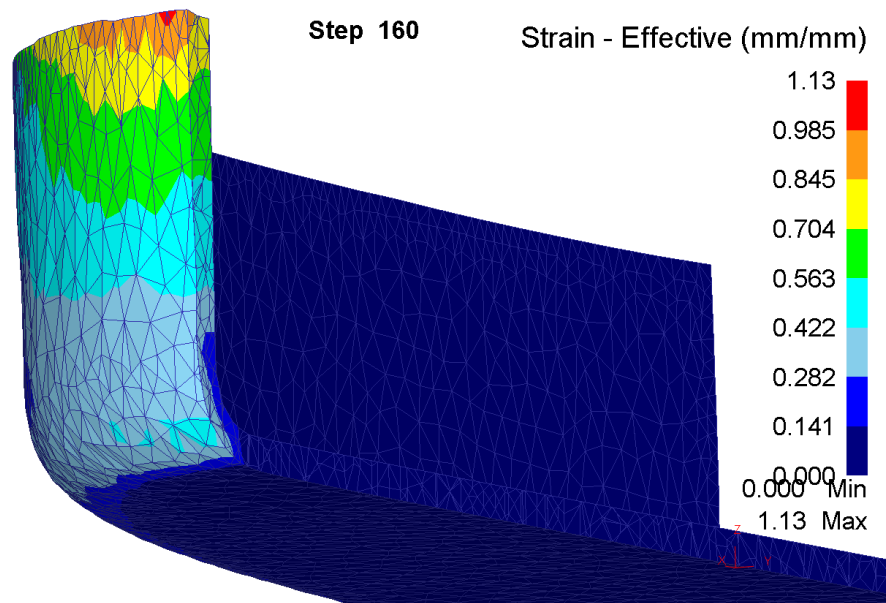


Рис. 2.41 Схема розподілу значень інтенсивності деформацій сформованої частини нервюри (в розрізі)

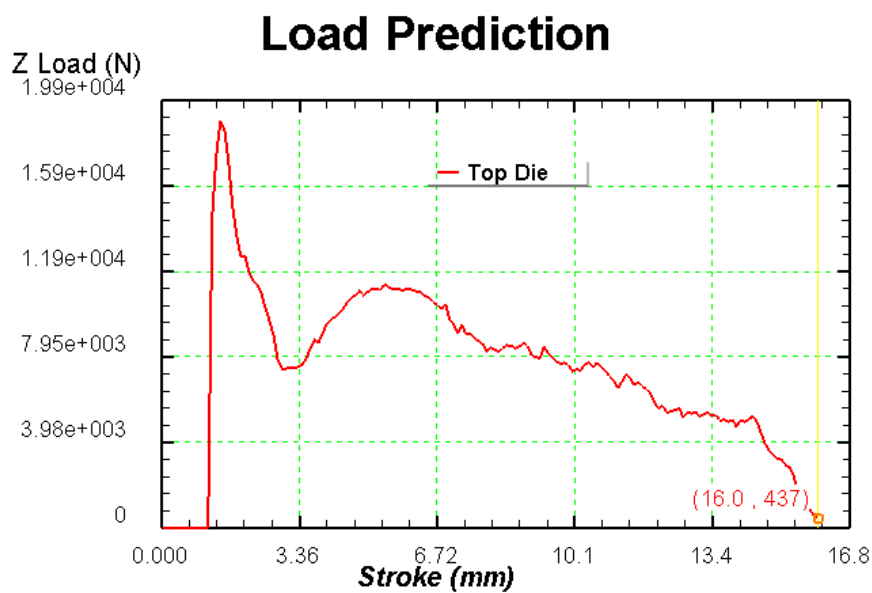


Рис. 2.42 Графік «Зусилля-Переміщення» при формуванні частини нервюри

2.6.5. Загальний висновок

В результаті 2D моделювання було досліджено витягування стакану, який за своєю природою нагадує витягування носової частини нервюри, з різним

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

66

внутрішніми радіусами заокруглення та отримано допустимі висоти стаканів за заданих радіусів. Саме за радіусу заокруглення 2 мм можливо витягнути стакан, що після обрізки фестонів матиме висоту, яка необхідна для зовнішнього борту носової частини нервюри.

Було змодельовано процес гнуття, який відбувається в інших зонах зовнішнього борту крім носової його частини. Було прийнято радіус заокруглення, що дорівнює радіусу заокруглення при моделюванні процесу витягування за якого можна отримати необхідну висоту деталі, тобто значення 2 мм. В результаті процес формоутворення за даних параметрів має сприятливі умови та значення критерію руйнування значно нижче за граничне.

З врахуванням розвантаження заокруглених ділянок прямолінійними під час витягування коробок, де даний процес більш характерний формуванню зовнішнього борту нервюри, аніж процес витягування стакану, то було прийнято рішення виконати тривимірне моделювання процесу формування носової частини зовнішнього борту нервюри з радіусом заокруглення 1,5 мм для більш глибокого та точнішого дослідження. В результаті моделювання було отримано, що носова частина зовнішнього борту нервюри може бути успішно сформована, що підтверджується нижчим значенням критерію руйнування за граничне.

Остаточного приймається рішення змінити внутрішній радіус заокруглення між зовнішнім бортом нервюри та її дном з 1 мм на 1,5 мм. Данні конструктивні зміни дозволять отримати зовнішній борт деталі за одну операцію, що є економічно позитивним рішенням.

2.7. Уточнення геометрії нервюри крила

2.7.1. Основні вимоги до деталі

Для БПЛА можуть висуватися менші суворі вимоги ніж до пасажирських літаків до яких висуваються вимоги у авіаційні правилах, таких як FAR-25, JAR-25 та інших [1, с. 29]. Для БПЛА може існувати окремий нормативний документ щодо вимог, але принцип схожий, як до літаків.

					<i>ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Основними вимогами до конструкції деталей є мінімальний коефіцієнт безпеки, допустимі перевантаження, витримування конструкцією при статичних випробовуваннях розрахованих навантажень без руйнування на протязі 3 секунд. [1, с. 29-30]

Окрім загальних обов'язкових вимог, раціональна конструкція планеру має задовольняти також наступним вимогам: міцність конструкції, мінімальна маса конструкції, жорсткість конструкції, ресурс конструкції деталі та вузла. [1, с. 30-32]

З врахуванням даних конструкційних вимог, необхідно, щоб технологічні вимоги щодо зміни конструкції деталі для приведення її до найбільш сприятливих умов для її виробництва раціонально забезпечували виконання перших. Тому розробка виробництва нервюри є плідною співпрацею між інженером-конструктором та інженером-технологом.

Будь-яка зміна у конструкції деталі для приведення її до технологічного виду має бути досліджена для перевірки виконання попередньо визначеної функції і, якщо технологічні зміни привели до невиконання поставленої функції за межами допустимої міри, то розглядати нові конструктивні зміни деталі, які потім знову аналізувати на технологічність або використовувати інші конструктивні підходи в системі виробу, щоб досягти виконання заданих функцій.

2.7.2. Побудова моделі деталі

Відповідно до прийнятих оптимальних технологічних радіусів заокруглення, що були визначенні у розділі з моделювання процесів формування у середовищі DEFORM, будується нова уточнена модель нервюри (рис. 2.43).

Слід зазначити, що в результаті зміни радіусу заокруглення незначно підрізається задня частина нервюри крила для забезпечення стійкості інструменту в даному вузькому місці (рис. 2.44).

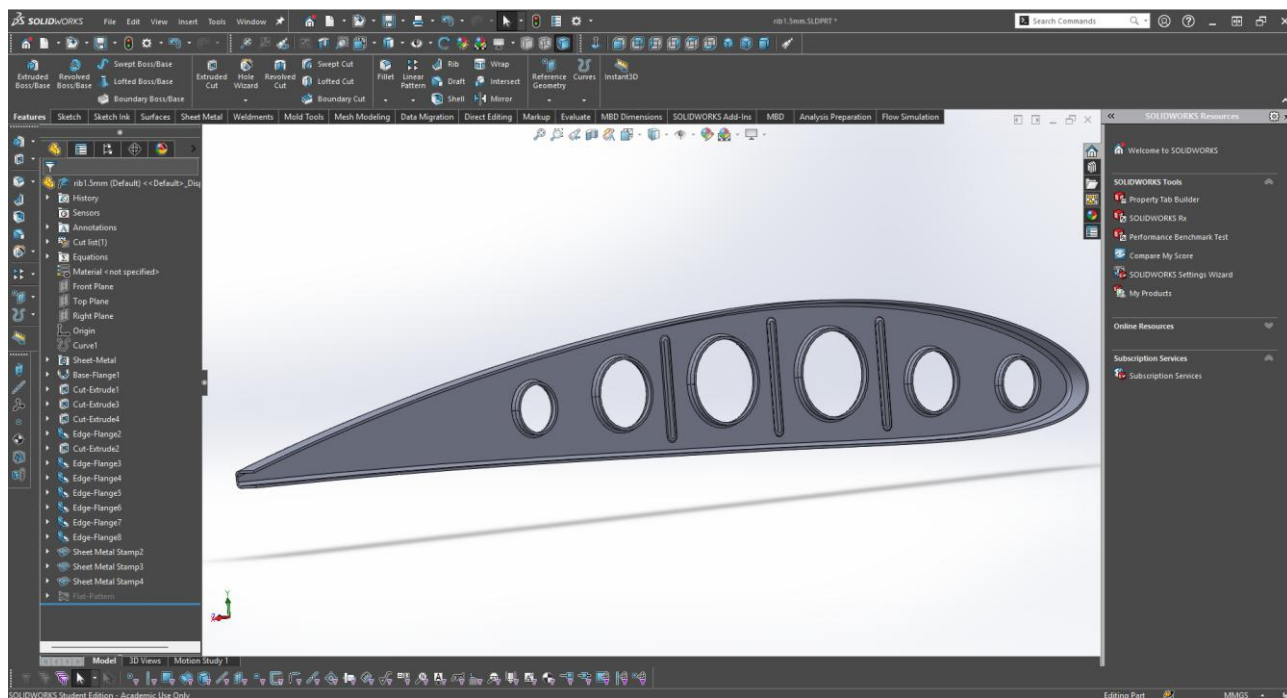


Рис. 2.43 Корегування геометрії деталі для забезпечення її технологічності

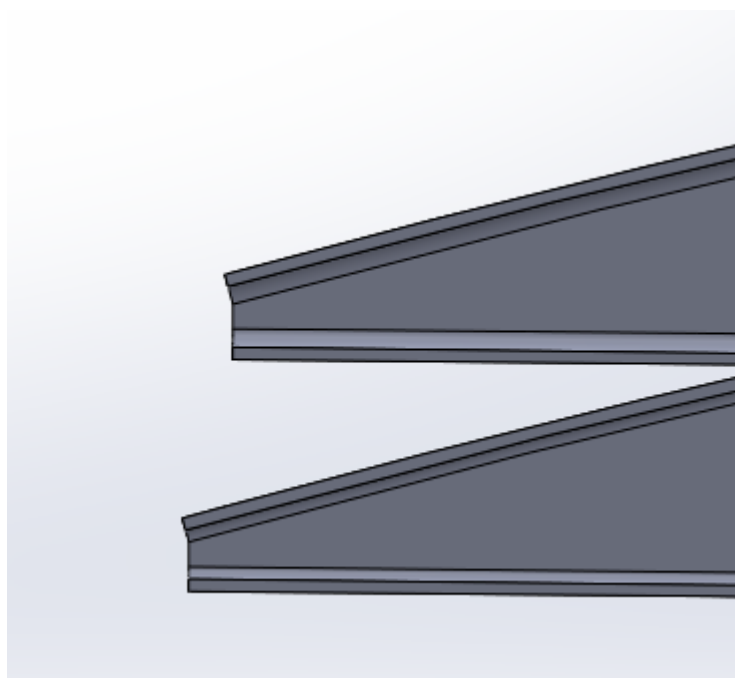


Рис. 2.44 Порівняння кінця деталі після підрізання, де зверху підрізана деталь, знизу – початкова.

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

2.8. Розрахунок технологічних зусиль

2.8.1. Формування зовнішнього борту

Відповідно до тривимірного моделювання в середовищі DEFORM було отримано зусилля формування носової частини нервюри.

Зусилля формування усього зовнішнього борту можна наближено визначити як суму зусилля формування носової частини нервюри та зусилля гнуття борту, що не враховувався при моделюванні задачі.

Довжина контуру для гнуття за результатами вимірювання приблизно складає 800 мм.

Для умови вільного гнуття існує наступна формула (за форм. 35 [4, с. 211]):

$$P_{\text{ГН}} = B_{\text{Г}} \cdot s \cdot K_{\text{Г}} \cdot \sigma_{\text{в}}, \quad (2.41)$$

де $B_{\text{Г}}$ – довжина лінії згину, яка приймається рівною 800 мм;

$s = 1$ мм – товщина матеріалу;

$K_{\text{Г}}$ – коефіцієнт;

$\sigma_{\text{в}} = 225$ МПа (за табл. 2.1) – межа міцності матеріалу.

Для співвідношення $r/s = 1,5$, де $r = 1,5$ – радіус заокруглення, (за табл. 22 [4, с. 212]) значення коефіцієнту становить 0,34.

Відповідно зусилля гнуття становить:

$$P_{\text{ГН}} = 800 \cdot 1 \cdot 0,34 \cdot 225 = 61\,200 \text{ Н.}$$

Загальне зусилля формування зовнішнього борту нервюри:

$$P_{\text{ЗН.б}} = P_{\text{н.ч}} + P_{\text{ГН}}, \quad (2.42)$$

де $P_{\text{н.ч}} = 16\,000$ Н (за результатами моделювання) – зусилля формування носової частини нервюри.

$$P_{\text{ЗН.б}} = 16\,000 + 61\,200 = 77\,200 \text{ Н.}$$

2.8.2. Відборткування отворів

Загальним зусиллям відборткування отворів сума зусиль відборткування кожного отвору.

Технологічне зусилля необхідне для відборткування отворів круглої форми розраховується наступним чином (за форм. 7 [4, с. 322]):

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{відб}} = 1,1 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot (D_0 - d_0), \quad (2.43)$$

де d_0 – необхідний діаметр технологічного отвору для відборткування, мм;

D_0 – середній діаметр відборткованого отвору, мм.

Визначається зусилля відборткування кожного отвору.

2.8.2.1. Діаметр 19 мм

$$P_{\text{відб.1}} = 1,1 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot (D_{0.1} - d_{0.1}) = 1,1 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 225 \cdot (20 - 14,29) \approx 4440 \text{ Н.}$$

2.8.2.2. Діаметр 24 мм

$$P_{\text{відб.2}} = 1,1 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot (D_{0.2} - d_{0.2}) = 1,1 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 225 \cdot (25 - 19,29) \approx 4440 \text{ Н.}$$

2.8.2.3. Діаметр 27 мм

$$P_{\text{відб.3}} = 1,1 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot (D_{0.3} - d_{0.3}) = 1,1 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 225 \cdot (28 - 22,29) \approx 4440 \text{ Н.}$$

2.8.2.4. Діаметр 33 мм

$$P_{\text{відб.4}} = 1,1 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot (D_{0.4} - d_{0.4}) = 1,1 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 225 \cdot (34 - 28,29) \approx 4440 \text{ Н.}$$

2.8.2.5. Діаметр 34 мм

$$P_{\text{відб.5}} = 1,1 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot (D_{0.5} - d_{0.5}) = 1,1 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 225 \cdot (35 - 29,29) \approx 4440 \text{ Н.}$$

2.8.2.6. Сумарне зусилля відборткування отворів

З врахуванням кількості отворів розраховується загальне зусилля відборткування отворів:

$$P_{\text{відб.заг}} = P_{\text{відб.1}} \cdot 2 + P_{\text{відб.2}} + P_{\text{відб.3}} + P_{\text{відб.4}} + P_{\text{відб.5}}, \quad (2.44)$$

$$P_{\text{відб.заг}} = 4440 \cdot 2 + 4440 + 4440 + 4440 + 4440 = 26\,640 \text{ Н.}$$

2.8.3. Рельєфне формування

Зусилля рельєфного формування розраховується за наступним підходом [4, с. 338]:

$$P_{\phi} = q \cdot F, \quad (2.45)$$

де q – питоме зусилля, Н/мм²;

F – площа проекції штампованого рельєфу на площину
перпендикулярну напрямку дії зусилля P_{ϕ} , мм².

Для алюмінії питоме зусилля q дорівнює 100-200 Н/мм² [4, с. 338].

Приймається:

$$q = 200 \text{ Н/мм}^2.$$

Наявні рельєфи (рис. 2.45) можна розділити на елементарні фігури – прямокутник та два півкола. Відповідно площу рельєфу можна визначити, як суму площ прямокутника та кола.

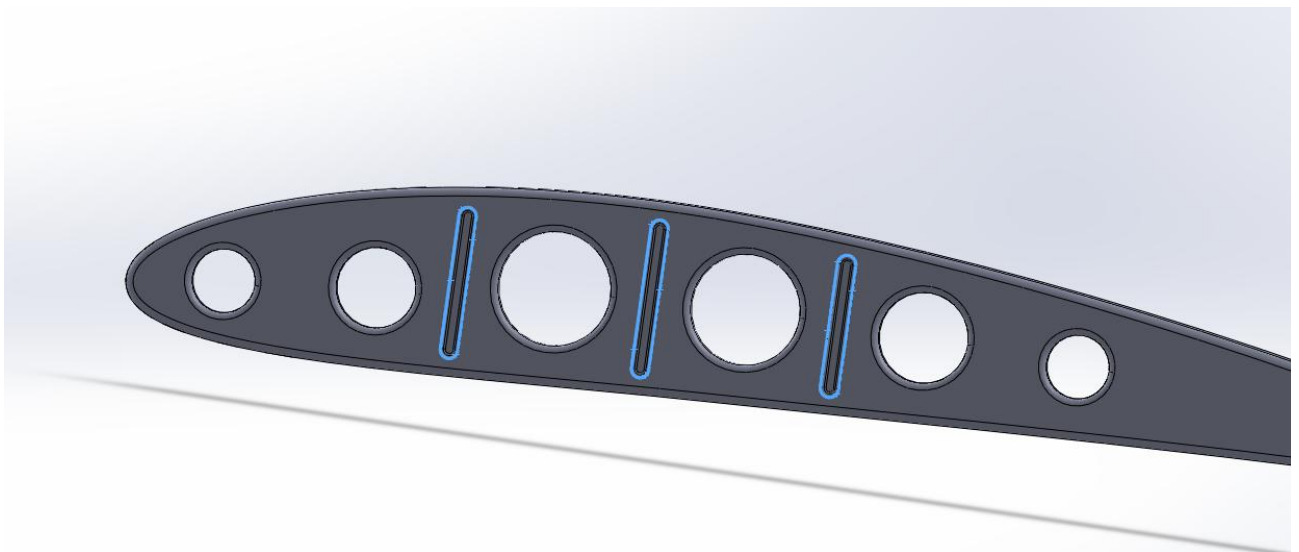


Рис. 2.45 Форма рельєфів деталі

Формула площі рельєфу набуде наступного виду:

$$F = l \cdot 2 \cdot r + \pi \cdot r^2, \quad (2.46)$$

де l – довжина прямолінійного відрізка, мм;

r – радіус, мм.

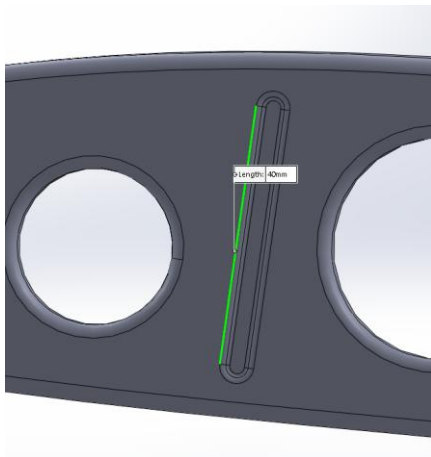
В CAD-системі SOLIDWORKS визначаються геометричні параметри рельєфів.

Перший рельєф має довжину прямолінійної ділянки l_1 , що дорівнює 40 мм (рис. 2.46, а) та радіус r_1 , який приблизно дорівнює 2,63 мм (рис. 2.46, б).

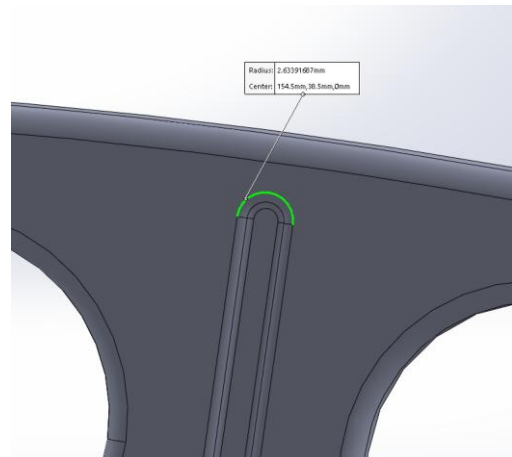
Відповідна його площа:

$$F_1 = 40 \cdot 2 \cdot 2,63 + \pi \cdot 2,63^2 \approx 232,13 \text{ мм.}$$

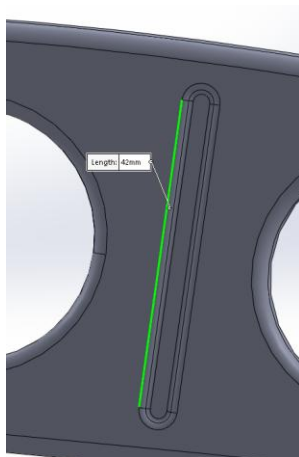
Другий та третій рельєфи мають наступні параметри: $l_2 = 42 \text{ мм}$ (рис. 2.46, в); $r_2 = 2,63 \text{ мм}$ (рис. 2.46, г); $l_3 = 37 \text{ мм}$ (рис. 2.46, д); $r_2 = 2,8 \text{ мм}$ (рис. 2.46, е);



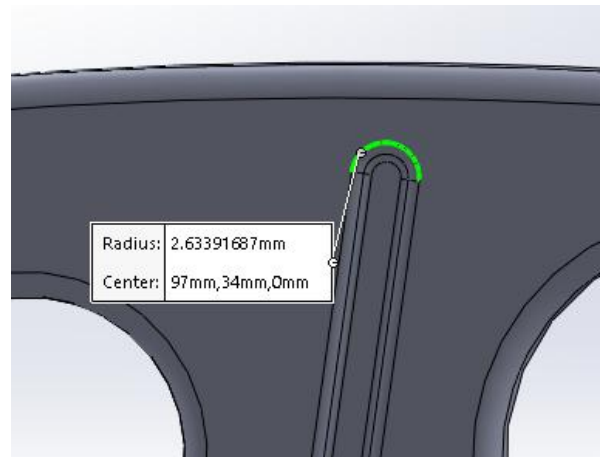
а)



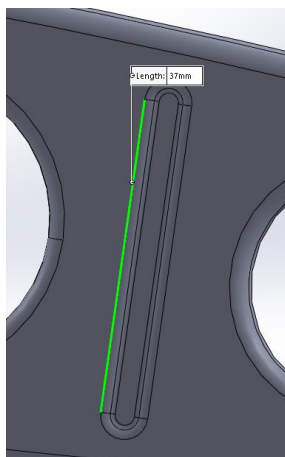
б)



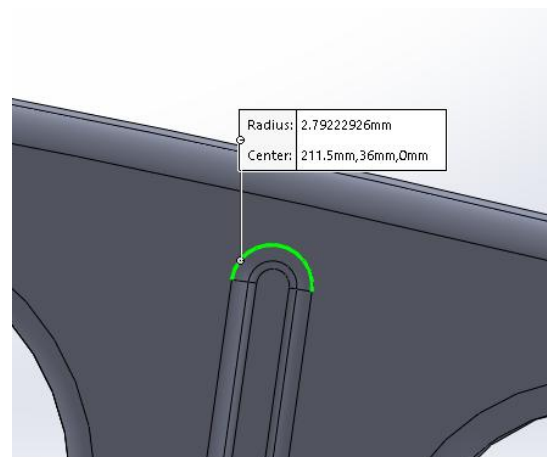
в)



г)



д)



е)

Рис. 2.46 Визначення розмірів рельєфів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

73

$$F_2 = 42 \cdot 2 \cdot 2,63 + \pi \cdot 2,63^2 \approx 242,65 \text{ мм.}$$

$$F_3 = 37 \cdot 2 \cdot 2,8 + \pi \cdot 2,8^2 \approx 231,83 \text{ мм.}$$

Загальна площа:

$$F_{\text{заг.}} = F_1 + F_2 + F_3, \quad (2.47)$$

$$F_{\text{заг.}} = 232,13 + 242,65 + 231,83 = 706,61 \text{ мм.}$$

Розраховується зусилля рельєфного формування:

$$P_{\phi} = 200 \cdot 701,61 = 140\,322 \text{ Н.}$$

2.8.4. Загальне зусилля

Для процесу суміщеного штампування визначається сумарне зусилля штампування:

$$P_{\text{шт.заг}} = P_{\text{зн.б}} + P_{\text{відб.заг}} + P_{\phi}, \quad (2.48)$$

$$P_{\text{шт.заг}} = 77\,200 + 26\,640 + 140\,322 = 244\,162 \text{ Н.}$$

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Відповідно до обраної скорегованої геометрії деталі технології її виготовлення проектується штамп суміщеної дії для отримання готової деталі із заготовки за один перехід.

Розглядається варіант за якого пуансон з матрицею будуть формувати зовнішній борт. З протилежної сторони заготовка буде притискатися виштовхувачем, який також працює як інструмент для відборткування отворів та рельєфного формування. Для того, щоб забезпечити необхідну функцію виштовхувача, необхідно розрахувати буфер, матеріалом якого приймається поліуретан.

3.1. Матриця (ДП.АТ2104.06.100.01)

Матриця в даному випадку є основним інструментом, що відповідає за формування зовнішнього борту нервюри.

За довідниками [4], [5] робочі розміри інструментів розраховуються з урахуванням допуску на конкретний розмір деталі. Але конструктором не встановлено ні допустимих відхилень, ні окремого допуску на профіль нервюри. Тому робочий контур матриці приймається рівним зовнішньому контуру деталі. У кінцевій частині контуру нервюри призначається заокруглення на матриці.

3.1.1. Призначення допуску

Допуск на матрицю призначається в межах досяжної точності при виготовленні елементу конкретним методом.

За консультацією наукового керівника метод електро-ерозійної обробки є найбільш рекомендованим для виготовлення даного робочого контуру матриці. Адже даний метод забезпечує високу точність.

Відповідно до довідникової літератури середня точність при електро-ерозійній обробці складає $\pm 0,025$ мм (табл. 5.4 [10, с. 114]). З урахуванням зменшення трудомісткості виготовлення елементу, необхідно, щоб допуск був

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

більший за величину точності при виготовленні його конкретним методом. Допуск робочого профілю матриці приймається рівним $\pm 0,05$ мм, тобто 0,1 мм.

3.1.2. Визначення основних параметрів

Радіус робочих кромek матриці вже був розрахований у технологічному розділі у відповідності до формули 100 [4, с. 290]:

$$r_m = 3 \text{ мм.}$$

Висота матриці розраховується конструктивно. Необхідно, щоб при формоутворенні зовнішній борт майбутньої деталі пройшов скруглення на матриці. Приймається так, щоб борт пройшов ще далі на 1 мм від скруглення. Окрім цього нижню частину матриці в кінці робочого ходу верхнього інструменту займає виштовхувач, її довжину можна розрахувати з урахуванням рекомендацій [4, с. 200] за наступним принципом:

$$h''_m \geq 0,1 \cdot A_m, \quad (3.1)$$

де A_m приймається рівним габаритному розміру деталі по ширині – $A_m = 61,54$ мм (за рис. 2.2).

$$h''_m \geq 0,1 \cdot 61,54 = 6,154 \text{ мм.}$$

Приймається $h'' = 7$ мм.

Відповідно до описаного, загальна висота матриці має наступний вигляд:

$$H_m = r_m + 1 + H'_d + h''_m, \quad (3.2)$$

де H'_d – висота деталі з урахуванням припуску на обрізування, мм.

Відповідно до попередніх розрахунків та моделювання формозмінних операцій, висота деталі до підрізки фестонів складає 11 мм.

$$H_m = 3 + 1 + 11 + 7 = 22 \text{ мм.}$$

Значення товщини матриці заокруглюється до найбільшого ближчого розміру з ряду чисел [4, с. 79] та приймається $H_m = 25$ мм.

Відповідна різниця буде компенсована збільшенням висоти виштовхувача в кінці робочого ходу в матриці:

$$h''_m = H_m - (r_m + 1 + H'_d), \quad (3.3)$$

$$h''_m = 25 - (3 + 1 + 11) = 10 \text{ мм.}$$

3.1.3. Розрахунок габаритних розмірів матриці

Розрахунок проводиться по аналогії до розрахунку розмірів матриці під вирубку-пробивку.

Найменші відстані між елементами сталеві матриці визначаються в залежності від матеріалу інструменту. Приймається матеріал У8А. Для даного робочого контуру приймається для розрахунку розмір e_4 (рис. 9 [4, с. 78]). Для випадку матеріалу матриці У8А (за табл. 20 [4, с. 78]) розмір e_4 визначається наступним чином:

$$e_4 = 1,2 \cdot H_M, \quad (3.4)$$

$$e_4 = 1,2 \cdot 25 = 27,5 \text{ мм.}$$

Відповідно до розрахованого розміру будується схема визначення попередніх габаритних розмірів матриці (рис. 3.1).

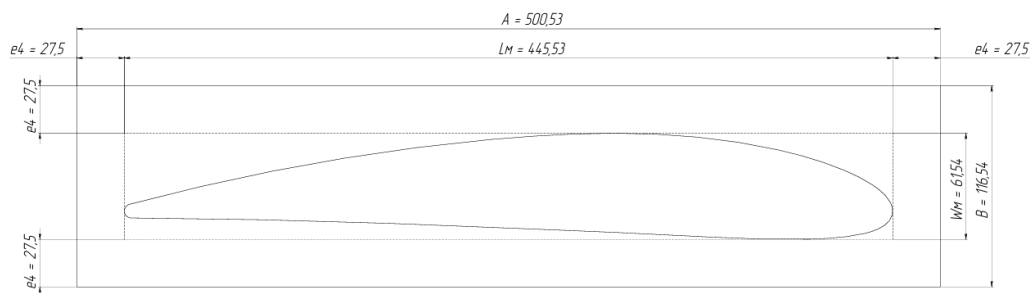


Рис. 3.1 Схема визначення попередніх габаритних розмірів матриці

За даною схемою (рис. 3.1) попередні габаритні розміри інструменту наступні:

$$A = 500,53 \text{ мм;}$$

$$B = 116,54 \text{ мм.}$$

За ГОСТ 15861-81 [11, с. 30] розраховані розміри округлюються до найближчих більших стандартних розмірів плит пакетів штампів для розділових операцій. Але з врахуванням меншого зусилля при формуванні, ніж при гнутті, та незначної різниці між меншим стандартним розміром та розрахованим, приймається плита-заготовка 1025-1311 за ГОСТ 15861 з наступними габаритними розмірами:

$$A = 500 \text{ мм};$$

$$B = 250 \text{ мм}.$$

Призначено габаритні розміри матриці.

Відповідно до встановлених габаритних розмірів інструменту, уточнюються відстані між елементами матриці:

$$e_{A4} = \frac{A - L_M}{2}, \quad (3.5)$$

де $L_M = 445,53 \text{ мм}$ – габаритна довжина робочого контуру матриці (за рис. 3.1).

$$e_{A4} = \frac{500 - 445,53}{2} = 27,235 \text{ мм},$$

Але з врахуванням більшого вирізу в матриці, де формується носова частина нервюри, то доцільно тільки зменшити розмір з протилежної сторони робочого контуру матриці. Тому з правої сторони відстань між робочим контуром та торцем матриці:

$$e_{4r} = e_{A4} = 27,5 \text{ мм};$$

З лівої сторони відповідно:

$$e_{4l} = A - L_M - e_{4r}, \quad (3.6)$$

$$e_{4l} = 500 - 445,53 - 27,5 = 26,97 \text{ мм}$$

По ширині матриці, відстань наступна:

$$e_{B4} = \frac{B - W_M}{2}, \quad (3.7)$$

де $W_M = 61,54 \text{ мм}$ – габаритна ширина робочого контуру матриці (за рис. 3.1).

$$e_{B4} = \frac{250 - 61,52}{2} = 94,24 \text{ мм}.$$

Будується схема габаритних розмірів матриці (рис. 3.2).

Відповідно до схеми (рис. 3.2) по ширині габаритний розмір матриці по відношенню до габаритного розміру ширини її робочого контуру є великим, тому немає сенсу орієнтуватися на стандартизований розмір матриці. Але

необхідно враховувати розміри буферу, які значно вплинуть на остаточні габаритні розміри матриці, тому для подальшого конструювання матриці доцільно розрахувати та сконструювати буфер.

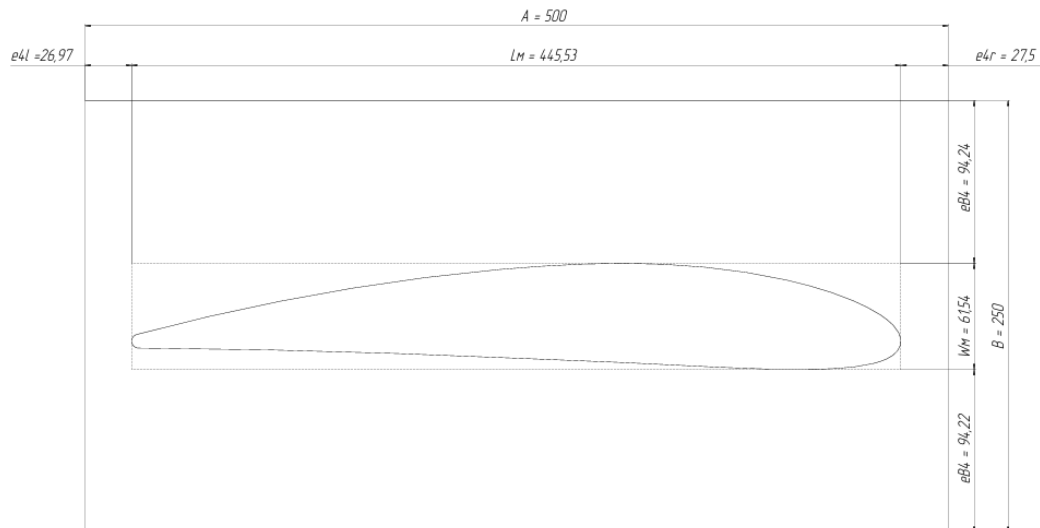


Рис. 3.2 Схема габаритних розмірів матриці

3.2. Буфер (ДП.АТ2104.06.100.02)

Буферні пристрої є необхідним елементом більшості конструкцій штампів. Від правильності виконання їх розрахунків в значній мірі залежить надійність роботи штампу. [4, с. 42]

Для даної конструкції штампу розглядається поліуретановий буферний пристрій.

Зазвичай необхідна величина попереднього стиску буферу Δ_1 має становити 5 % від загальної висоти буферу.

Враховуючи те, що найбільша оптимальна величина стиску гумового буферу складає 30 % (від загальної висоти буферу) [4, с. 44], то відповідний робочий хід буфера $h_{бф}$, що дорівнює робочому ходу виштовхувача-притискача $h_{н.в.}$, дорівнює 25 % висоти буферу.

$$h_{\text{бф}} = 0,25 \cdot H_{\text{бф}} \rightarrow H_{\text{бф}} = \frac{h_{\text{бф}}}{0,25}, \quad (3.8)$$

де $H_{\text{бф}}$ – загальна висота буферу, мм;

$h_{\text{бф}}$ – робочий хід буфера, мм.

Робочий хід буферу дорівнює робочому ходу пуансону, який взаємопов'язаний з висотою матриці і може бути розрахований наступним чином:

$$x = r_{\text{м}} + 1 + H'_{\text{д}}, \quad (3.9)$$

де x – робочий хід пуансону, мм.

$$x = 3 + 1 + 11 = 15 \text{ мм.}$$

$$h_{\text{бф}} = x = 15 \text{ мм.}$$

Розраховується загальна висота буферу

$$H_{\text{бф}} = \frac{15}{0,25} = 60 \text{ мм.}$$

Виходячи з попередніх висновків, можна пов'язати робочий хід буферу з величиною попереднього стиску буферу:

$$5\% \cdot h_{\text{бф}} = 25\% \cdot \Delta_1 \rightarrow \Delta_1 = \frac{5\% \cdot h_{\text{бф}}}{25\%}, \quad (3.10)$$

$$\Delta_1 = \frac{5\% \cdot 15}{25\%} = 3 \text{ мм.}$$

Необхідна площа поліуретанового буферу визначається за наступною формулою (за форм. 21 [4, с. 47]):

$$F_{\text{бф}} = \frac{P_2 \cdot \eta'}{4}, \quad (3.11)$$

де P_2 – зусилля в кінці робочого ходу, Н;

η' – коефіцієнт.

Кінцеве зусилля робочого ходу буферу приймається рівним сумі необхідного зусилля для відборткування отворів та рельєфного формування:

$$P_2 = P_{\text{відб.заг}} + P_{\text{ф}}, \quad (3.12)$$

$$P_2 = 26\,640 + 140\,322 = 166\,962 \text{ Н.}$$

Для поліуретану марки СКУ-7Л з твердістю по Шору 86 А [4, с. 47] значення коефіцієнту $\eta' = 0,85$.

$$F_{\text{бф}} = \frac{166\,962 \cdot 0,85}{4} = 35\,479,425 \text{ мм}^2.$$

При визначенні остаточних розмірів буферу, необхідно враховувати його випинання при максимальному (робочому) стиску. До розрахунку приймається метод визначення збільшення діаметру гумового буферу за рахунок випинання під час стиску на 30 % (за форм. 19 [4, с. 44]):

$$D'_{\text{бф}} \cong 1,3 \cdot D_{\text{бф}}, \quad (3.13)$$

де $D_{\text{бф}}$ – діаметр розвантаженого буферу, мм;

$D'_{\text{бф}}$ – діаметр стисненого на 30 % буферу, мм.

З даної формули можна прийняти розрахунок випинання сторін прямокутного поліуретанового буферу при стисненні на 30 %:

$$L'_{\text{бф}} \cong 1,3 \cdot L_{\text{бф}}, \quad (3.14)$$

$$W'_{\text{бф}} \cong 1,3 \cdot W_{\text{бф}}, \quad (3.15)$$

де $L_{\text{бф}}$ – довжина розвантаженого буферу, мм;

$L'_{\text{бф}}$ – довжина стисненого на 30 % буферу, мм.

$W_{\text{бф}}$ – ширина розвантаженого буферу, мм;

$W'_{\text{бф}}$ – ширина стисненого на 30 % буферу, мм.

За попередньо прийнятою конструкцією прямокутний буфер розташовується в штампі під матрицею в дистанційній плиті. З розрахунку матриці було прийнято її габаритний розмір по довжині, а відповідна внутрішня довжина порожнини дистанційної плити дорівнює габаритній довжині робочого контуру матриці:

$$L_{\text{п.д.пл}} = L_{\text{м}} = 445,53 \text{ мм}.$$

Необхідно, щоб після випинання буфер не торкався стінок дистанційного кільця, для цього приймається відстань між буфером під час випинання та стінкою дистанційного кільця рівною по 1 мм на кожену сторону. Виходячи з описаного, довжина буферу під час випинання наступна:

$$L'_{6\phi} = L_{п.д.пл} - (1 + 1), \quad (3.16)$$

$$L'_{6\phi} = 445,53 - (1 + 1) = 443,53 \text{ мм.}$$

З формули 3.14 можливо виконати обернений розрахунок для визначення довжини розвантаженого буферу:

$$L_{6\phi} \cong \frac{L'_{6\phi}}{1,3}, \quad (3.17)$$

$$L_{6\phi} \cong \frac{443,53}{1,3} \approx 341,18 \text{ мм.}$$

Приймається $L_{6\phi} = 341 \text{ мм.}$

Ширину буферу можна визначити із наступної залежності:

$$W_{6\phi} = \frac{F_{6\phi}}{L_{6\phi}}, \quad (3.18)$$

$$W_{6\phi} = \frac{35\,479,425}{341} \approx 104,04 \text{ мм.}$$

Приймається $W_{6\phi} = 105 \text{ мм.}$

$$W'_{6\phi} = 1,3 \cdot 105 = 136,5 \text{ мм.}$$

3.3. Матриця (продовження)

3.3.1. Визначення ширини

В штампі суміщеної дії передбачається відборткування отворів, де колонки, які виконують роль пуансонів, розташовуються з нижньої сторони штамп. Тому розташування буферу вимагає додаткового конструкторського підходу.

Приймається, що буфер буде розділений на два однакові паралелепіпеди, між якими будуть розташовуватися колонки для відборткування отворів.

Необхідно, щоб при стисненні за рахунок випинання буферу, він не торкався ні стінок дистанційної плити, ні колонок під відборткування. Відстань між ними приймається рівною 1 мм.

Для спрощення розрахунку замість колонок для відборткування, випуклий буфер має зберігати відстань 1 мм між габаритом робочого контуру матриці.

Згідно описаного внутрішня ширина дистанційної плити:

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{п.д.пл}} = W'_{\text{бф}} + 4 + W_{\text{м}}, \quad (3.19)$$

де 4 мм – відстань по 1 мм між стиснутим буфером та зі стінкою дистанційної плити з однієї сторони та габаритом робочої зони матриці;

$W_{\text{м}} = 61,54$ мм – габаритна ширина робочого контуру.

$$W_{\text{п.д.пл}} = 136,5 + 4 + 61,54 = 202,04 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$W_{\text{п.д.пл}} = 202 \text{ мм.}$$

Ширина матриці визначається як сума двох товщин стінок дистанційної плити та її внутрішньої ширини:

$$B = 2 \cdot e_4 + W_{\text{п.д.пл}}, \quad (3.20)$$

де e_4 приймається як товщина стінки дистанційного кільця.

$$B = 2 \cdot 27,5 + 202 = 257 \text{ мм.}$$

Відповідно до визначеної ширини матриці, уточнюються відстані між її елементами:

$$e_{B4} = \frac{B - W_{\text{м}}}{2}, \quad (3.21)$$

$$e_{B4} = \frac{257 - 61,54}{2} = 97,73 \text{ мм.}$$

Будується схема габаритних розмірів матриці (рис. 3.3).

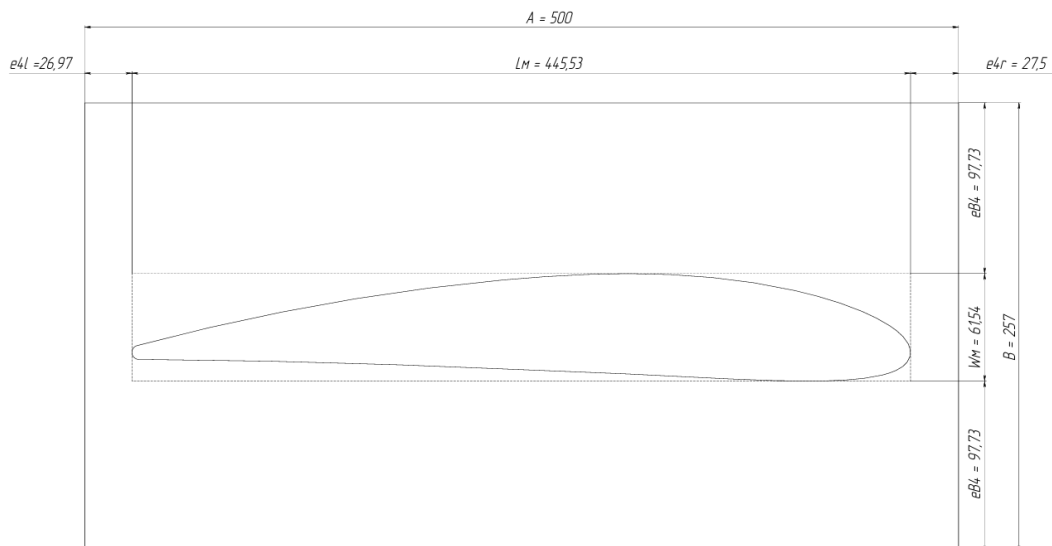


Рис. 3.3 Схема габаритних розмірів матриці

3.3.1.1. Визначення діаметрів гвинтів та штифтів для кріплення матриці та діаметру отворів під гвинти

За табл. 18 [4, с. 77], де для сумарного зусилля $P = 244,162$ кН та найбільшого габаритного розміру інструменту, яким в даному випадку є розмір A і дорівнює 500 мм, визначаються діаметри гвинтів та штифтів:

$$d_{\Gamma} = M12 \text{ мм},$$

$$d_{\text{ш}} = 10 \text{ мм},$$

де d_{Γ} – діаметр гвинта, мм;

$d_{\text{ш}}$ – діаметр штифта, мм.

Діаметр отворів під стержень гвинта визначається наступним чином (за рис. 9 [4, с. 78]):

$$d_{\text{о.Г}} = d_{\Gamma} + 1, \quad (3.22)$$

$$d_{\text{о.Г}} = 12 + 1 = 13 \text{ мм}.$$

3.3.1.2. Встановлення координат гвинтів та штифтів для кріплення матриці

Відповідно до довжини матриці A , що дорівнює 500 мм, та розмірів гвинтів – М12 і штифтів – 10 мм, за табл. 19 [4, с. 77], за рис. 9 [4, с. 77] та схемою

штампу на рис. 3.3 знаходяться наступні розміри (координати) та число гвинтів в одному ряду:

$$e_1 = 15 \text{ мм},$$

$$e_2 = 25 \text{ мм},$$

$$n = 3,$$

де e_1 – відстань від поперечного торця матриці до центру отвору під гвинт, мм;

e_2 – відстань від центру отвору під гвинт до центру отвору під штифт, мм;

n – число гвинтів в одному ряді, шт.

Враховуючи, що відстань між сусідніми гвинтами в ряду не має перебільшувати 90 мм (за табл. 20 [4, с. 78]), то кількість гвинтів в одному ряду була збільшена до 7 шт.

Згідно до табл. 20 [4, с. 78], для матеріалу інструменту У8А та діаметру отвору під стержень гвинта $d_{o.g.} = 13$ мм, мінімальна відстань від поздовжнього торця матриці до центру отворів під гвинти та штифти наступна:

$$e_7 = 1,4 \cdot d_{o.g.}, \quad (3.23)$$

$$e_7 = 1,4 \cdot 13 = 18,2 \text{ мм}.$$

Приймається:

$$e_7 = 18 \text{ мм}.$$

3.3.1.1. Проектування трафарету

Для матриці необхідно встановити розміри та координати отворів під стержень гвинтів та штифтів трафаретів.

Геометрія та розташування отворів під гвинти та штифти приймається конструктивно.

Для трафарету приймаються наступні розміри гвинтів та штифтів:

$$d_{г.т} = M6 \text{ мм},$$

$$d_{ш.т} = 6 \text{ мм},$$

де $d_{г.т}$ – діаметр гвинта до трафарету, мм;

$d_{ш.т}$ – діаметр штифта до трафарету, мм.

Діаметр отворів під стержень гвинта до трафарету визначається аналогічно до форм. 2.31:

$$d_{о.г.т} = d_{г.т} + 1, \quad (3.24)$$
$$d_{о.г.т} = 6 + 1 = 7 \text{ мм.}$$

За табл. 19 [4, с. 77] для обраних розмірів гвинтів та штифтів обираються найменші відстані між отворами, які наявні в даній таблиці для зазначених гвинтів та штифтів:

Відповідно до РТМ 105-0-212-83 за табл. 30 [13, с. 77] для товщини матеріалу, що штампується, $s = 1$, зазор між заготовкою та трафаретом становить:

$$z_t = 0,05 \text{ мм.}$$

Виходячи з цього, криволінійний контур робочої зони фіксатора (трафарету), що повторює контур заготовки, має бути збільшений на величину зазору.

Величина фіксуючої зони трафарету за табл. 30 [13, с. 77] для товщини матеріалу $s = 1$ мм, що штампується, становить:

$$h = 2 \text{ мм.}$$

Висота західної частини трафарету [13, с. 76]:

$$2h = 4 \text{ мм.}$$

Відповідно до отриманих параметрів загальна висота трафарету:

$$H_t = 3h = 6 \text{ мм.}$$

Кут нахилу західної частини [13, с. 76-77]:

$$\beta = 15 \dots 30^\circ.$$

Приймається $\beta = 15^\circ$.

3.3.2. Побудова схеми розташування отворів у матриці

Відповідно до розрахованих координат отворів під штифти та гвинти для кріплення матриці, а також відповідно до сконструйованих трафаретів, будується схема розташування отворів у матриці (3.4).

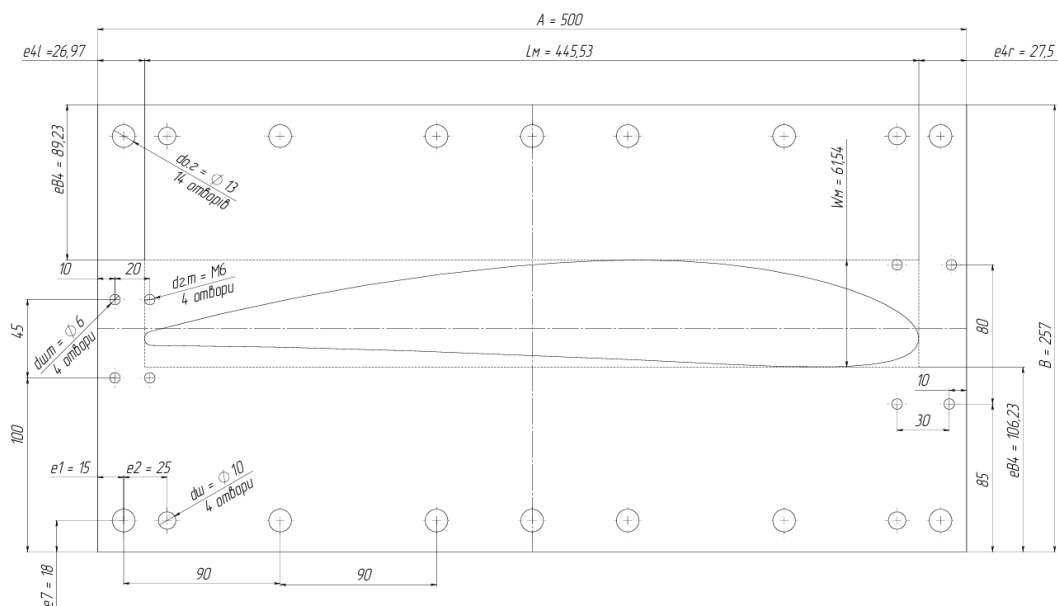


Рис. 3.4 Схема розташування отворів під гвинти і штифти на матриці.

3.4. Колонки під відборткування отворів

Для відборткування отворів приймається конструкція сферичного пуансону для відборткування круглих отворів діаметром більше 10 мм (рис. 1 [4, с. 316]).

Діаметр пуансону розраховують в залежності від діаметру відборткування з врахуванням деякого пружинення матеріалу, що штампується, та припуску на зношування пуансону (за форм. 8 [4, с. 323]):

$$d_{\Pi} = 1,01 \cdot (D_{\text{вн}} + \Delta)_{-0,2\Delta}, \quad (3.25)$$

де $D_{\text{вн}}$ – номінальне значення внутрішнього діаметру відборткованого отвору, мм;

Δ - заданий допуск на діаметр відборткованого отвору, мм.

Висота робочої циліндричної частини пуансону [4, с. 323]:

$$H_{\Pi} = H_6 + 2 \cdot s, \quad (3.26)$$

де $H_6 = 4$ мм (за рис. 2.2) – висота борту, мм;

$s = 1$ мм (за рис. 2.2) – товщина матеріалу, мм.

Відповідно, для всіх пуансонів висота наступна:

$$H_{\Pi} = 4 + 2 \cdot 1 = 6 \text{ мм.}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ

Лист

87

Радіус заокруглення сферичної частини пуансону [4, с. 323]:

$$r_{п.о} = 0,3 \cdot d_0, \quad (3.27)$$

де d_0 – діаметр технологічного отвору для відборткування, мм.

Радіус заокруглення пуансону на переході між сферичною та циліндричною частиною [4, с. 323]:

$$R_{п} \cong 2 \cdot D_{вн}. \quad (3.28)$$

Діаметр неробочої частини пуансону [4, с. 323]:

$$D_{п} = D_{вн} + 10 \cdot r_{м}. \quad (3.29)$$

де $r_{м}$ – радіус заокруглення на робочому ребрі матриці, мм.

Даний радіус приймають рівним заданому радіусу заокруглення деталі, але за виконання наступної умови [4, с. 323]:

$$r_{м.відб.отв} \geq 0,3 \cdot s. \quad (3.30)$$

За рис. 2.2 радіус заокруглення на робочій кромці матриці $r_{м}$ має становити 1 мм. Відповідно, перевіряється умова 3.30:

$$r_{м.відб.отв} = 1 \geq 0,3 \cdot 1 = 0,3 \text{ мм.}$$

Дана умова виконується, а отже радіус заокруглення робочої кромки матриці приймається рівним радіусу заокруглення деталі.

Тепер необхідно провести індивідуальний розрахунок розмірів для кожного пуансону.

3.4.1. Діаметр 19 мм (ДП.АТ2104.06.100.03)

Для визначається діаметру циліндричної частини пуансону необхідно визначити допуск на діаметр відбортovanого отвору.

Оскільки конструктором не встановлено допуски на деталь, то для усіх відбортovaných отворів призначається допуск Н14.

Відповідно до ГОСТ 25346-89 за табл. А.2 та А.3 [12, с. 135-136] повний запис розміру наступний:

$$D_1 = D_{вн} = 19H14(^{+0,52}).$$

Відповідно:

$$\Delta_1 = 0,52 \text{ мм.}$$

					<i>ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

За формулою 3.25 розраховується діаметр циліндричної частини пуансону:

$$d_{п.1} = 1,01 \cdot (D_1 + 0,52)_{-0,2 \cdot \Delta_1} = 1,01 \cdot (19 + 0,52)_{-0,2 \cdot 0,52} = \\ = 19,7152_{-0,104} \text{ мм.}$$

Приймається:

$$d_{п.1} = 19,71 \text{ мм.}$$

Рекомендовано розрахований допуск привести до найближчого меншого стандартного значення. За табл. А.2 [12, с. 135] найближчий стандартний допуск відповідає 10 квалітету, відповідно повний запис розміру робочої частини циліндру наступний:

$$d_{п.1} = 19,71 h10(-0,083) \text{ мм}$$

За формулою 3.27 визначається радіус заокруглення сферичної частини пуансону:

$$r_{п.о.1} = 0,3 \cdot d_{0.1} = 0,3 \cdot 14,29 = 4,287 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$r_{п.о.1} = 4 \text{ мм.}$$

За формулою 3.28 визначається заокруглення пуансону на переході між сферичної та циліндричною частиною:

$$R_{п.1} \cong 2 \cdot D_1 = 2 \cdot 19 = 38 \text{ мм.}$$

Діаметр неробочої частини пуансону за формулою 3.29:

$$D_{п.1} = D_1 + 10 \cdot r_m = 19 + 10 \cdot 1 = 29 \text{ мм.}$$

Конструкція штампу суміщеної дії передбачає розміщення колонок для відборткування отворів в нижній частині штампу і при цьому по ним буде ковзати притискач.

Загальна висота колонок підбирається по тому, щоб процес відборткування отворів відбувався, коли не викає максимальне зусилля від зовнішнього відборткування, а також, щоб не накладалося пікове зусилля рельєфного формування.

За графіком «Зусилля-переміщення» (рис. 2.42) при моделюванні формування носової частини в середовищі DEFORM максимальне зусилля

досягається на початку при переміщенні пуансону в межах 1...1,5 мм і далі спадає, тому доцільно виконувати відборткування отворів пізніше. Для цього необхідно брати меншу загальну висоту колонок для відборткування отворів, це також позитивно впливає на стійкість колонок.

Активний процес рельєфного формування буде проходити, коли зусилля притискача буде наближене до максимального робочого, тобто в кінці робочого ходу.

Відповідно до врахованого, найкращим варіантом буде, щоб процес відборткування отворів закінчився до початку активної фази рельєфного формування.

Згідно схеми деталі (рис. 2.2) глибина рельєфу становить 0,5 мм, тобто в кінці робочого ходу цей проміжок може відповідати активній фазі рельєфного формування, а тому від нього потрібно відштовхуватися. Тому приймається, щоб відборткування отворів закінчилося за 1 мм (з запасом) до кінця робочого ходу.

Виходячи з цього, загальна вільна висота колонок (пуансонів) без врахування сферичної частини дорівнює:

$$H_{\text{заг.п}} = H_{\text{п}} + 1 + h''_{\text{м}} + c_{\text{вишт}} + H_{\text{ст.бф}}, \quad (3.31)$$

де $c_{\text{вишт}}$ – висота вушок виштовхувача. Враховуючи відносно велике плече між буферами та виштовхувачем, для кращої жорсткості приймається $c = 25$ мм;

$H_{\text{ст.бф}}$ – висота стиснутого буфера, мм.

$$H_{\text{ст.бф}} = H_{\text{бф}} \cdot (100\% - 30\%) = H_{\text{бф}} \cdot 70\%, \quad (3.32)$$

$$H_{\text{ст.бф}} = 60 \cdot 70\% = 42 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{заг.п}} = 6 + 1 + 10 + 25 + 42 = 84 \text{ мм.}$$

Також висоту циліндричної частини колонок з діаметром, що дорівнює діаметру робочої циліндричної частини, необхідно збільшити, оскільки по ним буде ковзати виштовхувач. При відбортванні отворів він також відіграє роль притискача. Конструктивно приймається отвір, що є більшим на 1 мм за діаметр неробочої частини колонки, який розсвердлюється за 5 мм до робочої поверхні

виштовхувача. Такий підхід допомагає зменшити робочу висоту колонки, аніж робити її через усю висоту виштовхувача, а також це зменшує трудомісткість при виготовленні виштовхувача та колонок для відборткування отворів, оскільки зменшується площа з необхідною більш гладкою поверхнею.

Виходячи з описаного висота робочої циліндричної частини без врахування сферичної частини дорівнює:

$$H'_\Pi = H_\Pi + 1 + 5 + 2, \quad (3.33)$$

де 2 мм приймаються для гарантії запобігання зімкнення виштовхувача із сиупіною колонки.

$$H'_\Pi = 6 + 1 + 5 + 2 = 14 \text{ мм.}$$

Визначено висоту робочої циліндричної частини пуансонів.

Індивідуальні параметри інших пуансонів для відборткування отворів визначаються за аналогією з проведенням розрахунком інструментів для відборткування отворів діаметром 19 мм.

3.4.2. Діаметр 24 мм (ДП.АТ2104.06.100.04)

$$D_2 = D_{\text{BH}} = 24H14(^{+0,52}).$$

$$\Delta_2 = 0,52 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{п.2}} &= 1,01 \cdot (D_2 + 0,52)_{-0,2 \cdot \Delta_2} = 1,01 \cdot (24 + 0,52)_{-0,2 \cdot 0,52} = \\ &= 24,7652_{-0,104} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$d_{\text{п.2}} = 24,76 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$d_{\text{п.2}} = 24,76h10(-_{0,083})\text{мм}$$

$$r_{\text{п.о.2}} = 0,3 \cdot d_{0.2} = 0,3 \cdot 19,29 = 5,787 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$r_{\text{п.о.2}} = 6 \text{ мм.}$$

$$R_{\text{п.2}} \cong 2 \cdot D_2 = 2 \cdot 24 = 48 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{п.2}} = D_2 + 10 \cdot r_{\text{м}} = 24 + 10 \cdot 1 = 34 \text{ мм.}$$

3.4.3. Діаметр 27 мм (ДП.АТ2104.06.100.05)

$$D_3 = D_{\text{BH}} = 27H14(^{+0,52}).$$

$$\Delta_3 = 0,52 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{п.3}} &= 1,01 \cdot (D_3 + 0,52)_{-0,2 \cdot \Delta_3} = 1,01 \cdot (27 + 0,52)_{-0,2 \cdot 0,52} = \\ &= 27,7952_{-0,104} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$d_{\text{п.3}} = 27,79 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$d_{\text{п.3}} = 27,79h10(-_{0,083})\text{мм}$$

$$r_{\text{п.0.3}} = 0,3 \cdot d_{0.3} = 0,3 \cdot 22,29 = 6,687 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$r_{\text{п.0.3}} = 7 \text{ мм.}$$

$$R_{\text{п.3}} \cong 2 \cdot D_3 = 2 \cdot 27 = 54 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{п.3}} = D_3 + 10 \cdot r_{\text{м}} = 27 + 10 \cdot 1 = 37 \text{ мм.}$$

3.4.4. Діаметр 33 мм (ДП.АТ2104.06.100.06)

$$D_4 = D_{\text{BH}} = 33H14(^{+0,62}).$$

$$\Delta_4 = 0,62 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{п.4}} &= 1,01 \cdot (D_4 + 0,52)_{-0,2 \cdot \Delta_4} = 1,01 \cdot (33 + 0,62)_{-0,2 \cdot 0,62} = \\ &= 33,9562_{-0,124} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$d_{\text{п.4}} = 33,95 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$d_{\text{п.4}} = 33,95h10(-_{0,100})\text{мм}$$

$$r_{\text{п.0.4}} = 0,3 \cdot d_{0.4} = 0,3 \cdot 28,29 = 8,487 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$r_{\text{п.0.4}} = 9 \text{ мм.}$$

$$R_{\text{п.4}} \cong 2 \cdot D_4 = 2 \cdot 33 = 66 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{п.4}} = D_4 + 10 \cdot r_{\text{м}} = 33 + 10 \cdot 1 = 43 \text{ мм.}$$

3.4.5. Діаметр 34 мм (ДП.АТ2104.06.100.07)

$$D_5 = D_{BH} = 34H14(^{+0,62}).$$

$$\Delta_5 = 0,62 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} d_{п.5} &= 1,01 \cdot (D_5 + 0,52)_{-0,2 \cdot \Delta_5} = 1,01 \cdot (34 + 0,62)_{-0,2 \cdot 0,62} = \\ &= 34,9662_{-0,124} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$d_{п.5} = 34,96 \text{ мм.}$$

Приймається:

$$\begin{aligned} d_{п.5} &= 34,96h10(_{-0,100})\text{мм} \\ r_{п.0.4} &= 0,3 \cdot d_{0.5} = 0,3 \cdot 29,29 = 8,787 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$\begin{aligned} r_{п.0.5} &= 9 \text{ мм.} \\ R_{п.5} &\cong 2 \cdot D_4 = 2 \cdot 34 = 68 \text{ мм.} \\ D_{п.5} &= D_5 + 10 \cdot r_m = 34 + 10 \cdot 1 = 44 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Визначено параметри для конструювання колонок для відбортуння отворів.

3.5. Пуансон (ДП.АТ2104.06.100.08)

Робочий контур пуансону визначається за аналогією у випадку з матрицею.

Для отримання зовнішнього робочого контуру пуансону так само, як для матриці, призначається процес електро-ерозійного різання. За рахунок цього, можливо отримати робочий контур по усій висоті заготовки, тобто даний підхід вимагає використання збірного пуансону, а точніше робочої частини пуансону та пуансонотримача, які зкріплюються гвинтами та штифтами. Розташування отворів під гвинти та штифти приймаються конструктивно, а їх діаметри – М10 та 10 мм.

3.5.1. Основні параметри

Односторонній зазор між інструментами z призначається рівний 1 мм, вибір якого описувався раніше, оскільки він є оптимальним для процесу витягування та гнуття.

Відповідний робочий контур пуансону отримується за рахунок зміщення геометрії робочого контуру матриці на 1 мм.

Допуск профілю робочої геометрії пуансону призначається по аналогії з матрицею і становить 0,1 мм.

Радіус заокруглення робочої кромки пуансону приймається рівним внутрішньому заокругленню на деталі:

$$r_{\Pi} = 1,5 \text{ мм.}$$

Висота інструменту призначається конструктивно:

$$H_{\text{осн}} = H_{\text{гл.зан}} + H_{\text{т}} + H_{\text{гар.з}}, \quad (3.34)$$

де $H_{\text{гл.зан}}$ – глибина занурення пуансону, яка дорівнює величині робочого ходу інструменту – $H_{\text{гл.зан}} = x = 15 \text{ мм}$;

$H_{\text{т}} = 6 \text{ мм}$ – висота трафарету;

$H_{\text{гар.з}}$ – величина гарантованого зазору, яку рекомендується приймати рівною 25 мм;

$$H_{\text{осн}} = 15 + 6 + 25 = 46 \text{ мм.}$$

3.5.2. Відборткування отворів

Для суміщеного штампування даний пуансон виступає в ролі матриці для відборткування отворів. Проводиться розрахунок параметрів кожного отвору.

Виконавчі розміри діаметрів розраховуються наступним чином (за форм. 9 [4, с.323]):

$$d_{\text{відб.отв}} = [1,01 \cdot (D_{\text{вн}} + \Delta) + 1,9 \cdot z_{\text{відб}}]^{+0,1 \cdot z_{\text{відб}}}, \quad (3.35)$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр відборткованих отворів, мм;

Δ - заданий на діаметр відборткованого отвору, мм;

$z_{\text{відб}}$ – односторонній зазор, мм.

Односторонній зазор між інструментами для товщини матеріалу 1 мм за табл. 4 [4, с. 323] має різні запропоновані значення при відбортунні в плоскій заготовці та в дні попередньо витягнутого стакану. Оскільки процес формування не є чистим витягуванням, але і при початку процесу відбортуння отворів вже буде частково сформований борт, то приймається усереднене значення:

$$z_{\text{відб}} = 0,8 \text{ мм.}$$

Радіус на робочій кромці інструменту приймається рівним радіусу на деталі, де за умовою 3.30 даний розмір допустимий та був вже зазначений і прийнятий.

3.5.2.1. Діаметр 19 мм

$$D_1 = D_{\text{вн}} = 19H14(^{+0,52}).$$

$$\Delta_1 = 0,52 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{відб.отв.1}} &= [1,01 \cdot (D_1 + \Delta_1) + 1,9 \cdot z_{\text{відб}}]^{+0,1 \cdot z_{\text{відб}}} = \\ &= [1,01 \cdot (19 + 0,52) + 1,9 \cdot 0,8]^{+0,1 \cdot 0,8} = 21,2352^{+0,08} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$d_{\text{відб.отв.1}} = 21,23 \text{ мм.}$$

По аналогії до розрахунку колонок для відбортуння отворів, рекомендовано привести розрахований допуск до найближчого меншого стандартного значення. За табл. А.2 [12, с. 135] найближчий стандартний допуск відповідає 9 квалітету, відповідно повний запис розміру робочої частини циліндру наступний:

$$d_{\text{відб.отв.1}} = 21,23H9(^{+0,052}).$$

За рекомендацією наукового керівника отвори в інструменті робляться наскрізними. Для зменшення трудомісткості при обробці робочої поверхні отвору в інструменті, призначається діаметр 22 мм, який займає залишкову глибину інструменту.

Робоча глибина призначається конструктивно:

$$H_{\text{відб.отв}} = H_6 + 2 \cdot s, \quad (3.36)$$

де $H_6 = 4 \text{ мм}$ – висота борту;

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
						95
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$s = 1$ мм – товщина матеріалу.

3.5.2.2. Діаметр 24 мм

Розрахунок усіх інших отворів проводиться по аналогії:

$$D_2 = D_{\text{вн}} = 24H14(^{+0,52}).$$

$$\Delta_2 = 0,52 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{відб.отв.2}} &= [1,01 \cdot (D_2 + \Delta_2) + 1,9 \cdot z_{\text{відб}}]^{+0,1 \cdot z_{\text{відб}}} = \\ &= [1,01 \cdot (24 + 0,52) + 1,9 \cdot 0,8]^{+0,1 \cdot 0,8} = 26,2852^{+0,08} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$d_{\text{відб.отв.2}} = 26,28 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{відб.отв.2}} = 26,28H9(^{+0,052}).$$

3.5.2.1. Діаметр 27 мм

$$D_3 = D_{\text{вн}} = 27H14(^{+0,52}).$$

$$\Delta_3 = 0,52 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{відб.отв.3}} &= [1,01 \cdot (D_3 + \Delta_3) + 1,9 \cdot z_{\text{відб}}]^{+0,1 \cdot z_{\text{відб}}} = \\ &= [1,01 \cdot (27 + 0,52) + 1,9 \cdot 0,8]^{+0,1 \cdot 0,8} = 29,3152^{+0,08} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$d_{\text{відб.отв.3}} = 29,31 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{відб.отв.3}} = 29,31H9(^{+0,052}).$$

3.5.2.1. Діаметр 33 мм

$$D_4 = D_{\text{вн}} = 33H14(^{+0,62}).$$

$$\Delta_4 = 0,62 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{відб.отв.4}} &= [1,01 \cdot (D_4 + \Delta_4) + 1,9 \cdot z_{\text{відб}}]^{+0,1 \cdot z_{\text{відб}}} = \\ &= [1,01 \cdot (33 + 0,62) + 1,9 \cdot 0,8]^{+0,1 \cdot 0,8} = 35,4762^{+0,08} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Приймається:

$$d_{\text{відб.отв.4}} = 35,47 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{відб.отв.4}} = 35,47H9(^{+0,052}).$$

3.5.2.1. Діаметр 34 мм

$$D_5 = D_{\text{вн}} = 34H14(^{+0,62}).$$

$$\Delta_5 = 0,62 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{відб.отв.5}} = [1,01 \cdot (D_5 + \Delta_5) + 1,9 \cdot z_{\text{відб}}]^{+0,1 \cdot z_{\text{відб}}} =$$

$$= [1,01 \cdot (34 + 0,62) + 1,9 \cdot 0,8]^{+0,1 \cdot 0,8} = 36,4862^{+0,08} \text{ мм.}$$

Приймається:

$$d_{\text{відб.отв.4}} = 36,48 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{відб.отв.4}} = 36,48H9(^{+0,052}).$$

3.5.3. Рельєфне формування

Основний пуансон також формує рельєф у деталі при штампуванні.

Оскільки довідникові дані не надають конкретних розрахунків при конструюванні інструментів для даного процесу, що може бути пов'язано з тим, що в основному рельєфне формування використовується для підвищення жорсткості деталі, тому заглиблення у пуансоні має просто повторювати форму рельєфу деталі зі сторони

Відповідно до усіх розрахованих параметрів конструюється пуансон.

3.6. Виштовхувач (ДП.АТ2104.06.100.09)

3.6.1. Основні параметри

Висота виштовхувачу розраховується наступним чином:

$$H_{\text{вишт}} = H_{\text{м}} + c_{\text{вишт}}, \quad (3.37)$$

де $H_{\text{м}} = 25 \text{ мм}$ – товщина матриці;

$$H_{\text{вишт}} = 25 + 20 = 45 \text{ мм.}$$

Виштовхувач розміщується у робочій порожнині матриці, а тому, має повторювати робочий контур даного інструменту.

Рекомендується зазор між матрицею та пуансоном рівний 0,1 мм.

Допуск профілю приймається рівний 0,1 мм.

Виштовхувач так само як матриці і пуансон буде отримуватися електроерозійним методом, а тому вушка будуть окремим елементом. Відповідно умовна робоча частина виштовхувача та вушка будуть кріпитися один до одного

за рахунок гвинтів та штифтів, які конструктивно приймаються діаметрами М10 та 10 мм.

Розміри вушок виштовхувачу приймаються такими, щоб вони повністю накривали буфер забезпечуючи контакт по усій його корисній площі.

3.6.2. Відборткування отворів

Діаметри отворів приймаються рівними діаметру колонок під відборткування з полем допуску Н14 та з певними конструктивними особливостями, що були згадані при конструюванні колонок для відборткування отворів.

3.6.3. Рельєфне формування

По аналогії з пуансоном приймається випукла форма у виштовхувачі для формування відповідного заглиблення у деталі при рельєфному формуванні.

Конструюється виштовхувач.

3.7. Конструювання інших деталей пакету штампу

3.7.1. Пуансонотримач (ДП.АТ2104.06.100.10)

Даний елемент повністю повторює габарити матриці.

Величину товщини пуансонотримача можна конструктивно розрахувати з наступної залежності:

$$H_{\text{п.тр}} = 0,8 \cdot H_{\text{м}}, \quad (3.38)$$

де $H_{\text{м}} = 25$ мм – товщина матриці.

$$H_{\text{п.тр}} = 0,8 \cdot 25 = 20 \text{ мм.}$$

Розташування отворів під гвинти та штифти для кріплення у верхній плиті штампу приймається однаковим по відношенню до розташування отворів під гвинти та штифти для кріплення матриці на нижній плиті штампу.

3.7.2. Дистанційна плита (ДП.АТ2104.06.100.11)

Розраховується висота:

$$H_{\text{д.пл}} = H_{\Delta\text{бф}} + c_{\text{вишт}}, \quad (3.39)$$

де $H_{\Delta\text{бф}}$ – висота попередньо стиснутого буферу, мм.

					<i>ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ</i>	Лист
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{\Delta\phi} = H_{\phi} - \Delta_1, \quad (3.40)$$

де $H_{\phi} = 60$ мм – висота розвантаженого буферу;
 $\Delta_1 = 3$ мм – величина попереднього стиску буферу.

$$H_{\Delta\phi} = 60 - 3 = 57 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{д.пл}} = 57 + 20 = 77 \text{ мм.}$$

Дистанційна плита виконується збірною. Діаметр гвинтів дорівнює М10, а штифтів – 10 мм.

3.8. Проектування штампу (ДП.АТ2104.06.100.00 СК)

3.8.1. Вибір штампового блоку

Необхідно розрахувати висоту пакету штампу у нижньому робочому положенні:

$$H_{\Pi} = H_{\text{п.тр}} + H_{\text{гар.з}} + H_{\text{т}} + H_{\text{м}} + H_{\text{д.пл}}, \quad (3.41)$$

де $H_{\text{п.тр}} = 20$ мм – товщина пуансонотримача;
 $H_{\text{гар.з}} = 25$ мм – величина гарантованого зазору;
 $H_{\text{т}} = 6$ мм – висота трафарету;
 $H_{\text{м}} = 25$ мм – товщина матриці;
 $H_{\text{д.пл}} = 77$ мм – товщина дистанційної плити.

$$H_{\Pi} = 20 + 25 + 6 + 25 + 77 = 153 \text{ мм}$$

Згідно розмірів робочої зони (габаритних розмірів матриці) та закритої висоти пакету обирається стандартизований блок штампу з осьовим розташуванням направляючих вузлів ковзання за ГОСТ 13126-83 [14] обирається пакет штампу 1004-4854.

3.8.2. Вибір та конструювання елементів штампу

Відповідно до ГОСТ 13126-83 [14] для пакету штампу 1004-4854 відповідають заготовки нижньої плити штампу 1022-4782 за ГОСТ 13113-83 та верхньої плити штампу 1022-4781 за ГОСТ 13113-83; колонки 1030-6132 за ГОСТ 13118-83 та 1030-6117 за ГОСТ 13118-83; втулки 1032-2812 за ГОСТ 13120-83 та 1032-2785 за ГОСТ 13120-83.

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
						99
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструюється штамп.

Розраховується висота штамп у закритому нижньому положенні:

$$H_{\text{ш}} = H_{\text{п}} + H_{\text{нпш}} + H_{\text{впш}}, \quad (3.42)$$

де $H_{\text{п}} = 153$ мм – висота пакету штамп у;

$H_{\text{нпш}}$ – висота нижньої плити штамп у. За ГОСТ 13110-83 [15] для плити 1022-4768 $H_{\text{нпш}} = 90$ мм;

$H_{\text{впш}}$ – висота верхньої плити штамп у. За ГОСТ 13111-83 [15] для плити 1022-4766 $H_{\text{впш}} = 80$ мм.

$$H_{\text{ш}} = 153 + 90 + 80 = 323 \text{ мм.}$$

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

4. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

Для спроектоваого штампу з урахуванням зусилля, габаритів штампа в плані та величини робочого ходу підбирається прес.

4.1. Вибір пресу

Загальне технологічне зусилля за результатами моделювання та розрахунків складає 244 162 Н, але враховуючи те, що штамп було спроектовано так, щоб пікові зусилля різних процесів формування не накладалися, тому вибір по зусиллю пресу спирається на максимальне технологічне зусилля, яке виникає під час рельєфного формування і складає 140 322 Н. Але розрахунок зусилля буферу у кінці робочого ходу становить 166 962 Н, тому приймається до уваги дане значення.

Відповідно до прийнятого максимального технологічного зусилля процесу формування деталі $P = 166\,692$ Н, висоти штампу в нижньому робочу положенні $H_{ш} = 253$ мм та габаритних горизонтальних розмірів штампу – довжиною 500 мм та шириною 240 мм, обирається двох стійковий ненахилений з нерухомим столом відритий прес простої дії К2234 (табл. 4 [18, с. 21]).

4.2. Перевірка пресу по закритій висоті

В пресах з постійним ходом повзуна та нерухомим столом граничні зміни закритої висоти штампу визначаються тільки величиною регулювання довжини шатуна [18, с. 31].

Найбільша закрыта висота преса [18, с. 31]:

$$H_{max} = H - H_{пл}, \quad (4.1)$$

де $H = 500$ мм (за табл. 4 [18, с. 21]);

$H_{пл} = 140$ мм (за табл. 4 [18, с. 21]).

$$H_{max} = 500 - 140 = 360 \text{ мм.}$$

Найменша закрыта висота преса [18, с. 31]:

$$H_{min} = H - H_{пл} - \Delta_{ш}, \quad (4.2)$$

де $\Delta_{ш} = 140$ мм (за табл. 4 [18, с. 21]).

$$H_{min} = 500 - 140 - 140 = 220 \text{ мм.}$$

Закрита висота штампу знаходиться в межах закритої висоти пресу, а отже остаточно приймається обране обладнання.

4.3. Хвостовик

За табл. 5 [18, с. 23] діаметр отвору у повзуні преса, що відповідає діаметру хвостовика, становить 75 мм.

За ГОСТ 16715-71 [19] приймається та конструюється хвостовик 1034-0649.

Хвостовик в штампі розміщується по центру середнього рельєфу деталі, оскільки саме дані елементи деталі вимагають найбільших технологічних зусиль, через що виникають найбільші зусилля перекосу.

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Проектований технологічний процес виготовлення нервюри з алюмінієвого сплаву Д16АМ включає операції лазерного різання листового матеріалу, термообробки та подальшого листового штампування на пресі.

Під час виконання зазначених операцій на працівника можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори відповідно до вимог:

- ДСТУ EN ISO 12100;
- НПАОП 0.00-1.71-13.

Основними небезпечними факторами є:

- При лазерному різанні
 - дія лазерного випромінювання;
 - підвищена яскравість світіння зони різання;
 - ураження електричним струмом;
 - виділення аерозолів металу;
 - підвищена температура заготовки;
 - можливість виникнення пожежі.
- При термічній обробці:
 - Висока температура нагрівальних елементів;
 - інфрачервоне випромінювання;
 - гарячі деталі;
 - гаряче повітря;
 - продукти окиснення металу;
 - безпека опіків.
- При штампуванні
 - травмування рухомими частинами преса;

- заземлення рук між пуансоном і матрицею;
- руйнування інструменту;
- падіння штампового оснащення;
- підвищений рівень шуму та вібрації.

5.2. Заходи безпеки при лазерному різанні

Для розкрою заготовки прийнято лазерне різання на верстаті з ЧПК.

Найбільшу небезпеку становить пряме або відбите лазерне випромінювання.

5.2.1. Безпека персоналу

Для захисту персоналу необхідно:

- використовувати захисний кожух робочої зони;
- застосовувати світлозахисні екрани;
- виключити можливість доступу до зони різання під час роботи;
- використовувати захисні окуляри відповідного класу.

5.2.2. Вентиляція

Під час різання Д16АМ утворюються:

- алюмінієвий пил;
- оксиди металів;
- продукти горіння захисних плівок.

Для їх видалення передбачається місцева витяжна вентиляція.

Швидкість повітря у зоні відсмоктування рекомендується приймати:

$$v = 0,5 \dots 1,5 \text{ м/с.}$$

5.2.3. Електробезпека

Лазерна установка живиться від мережі напругою:

$$U = 380 \text{ В.}$$

Тому передбачаються:

- захисне заземлення;
- автоматичне відключення живлення;

- регулярний контроль опору ізоляції.

5.3. Заходи безпеки при термообробці

5.3.1. Захист від теплового випромінювання

Температура печей для термообробки алюмінієвих сплавів може становити:

450 – 520 °C

При роботі необхідно використовувати:

- теплоізовані дверцята печі;
- захисні екрани;
- термостійкі рукавиці;
- спецодяг.

5.3.2. Вимоги до завантаження деталей

Завантаження деталей здійснюється:

- спеціальними щипцями;
- технологічними кошиками;
- візками.

Забороняється:

- торкатися гарячих деталей без ЗІЗ;
- використовувати несправний інструмент.

5.3.3. Вентиляція

При нагріванні можуть утворюватися:

- оксиди алюмінію;
- продукти випаровування технологічних мастил.

Тому необхідна:

- загальнообмінна вентиляція;
- місцева витяжка над піччю.

5.4. Заходи безпеки при листовому штампуванні

Для формування нервюри застосовується штампова оснастка.

5.4.1. Конструкція штампу

Основною небезпекою є зона між пуансоном і матрицею.

Тому передбачається наступне:

- огороження робочої зони;
- дворуке керування пресом;
- аварійна кнопка зупинки;
- блокування запуску при відкритому захисному екрані.

5.4.2. Монтаж штампа

Маса штампового оснащення становить десятки кілограмів.

Для безпечного монтажу необхідно:

- використовувати вантажопідіймальні пристрої;
- застосовувати штатні різьбові отвори для транспортування;
- використовувати стропи відповідної вантажопідйомності.

5.5. Аналіз шуму та вібрації

Джерелами шуму є:

- лазерний комплекс;
- піч;
- пресове обладнання.

Допустимий рівень шуму на робочому місці згідно з нормативними вимогами не повинен перевищувати:

80 дБа

При перевищенні необхідно використовувати:

- протишумові навушники;
- шумоізолюючі кожухи.

5.6. Освітлення робочого місця

Для забезпечення якісного контролю деталей необхідно передбачити комбіноване освітлення.

Для робіт середньої точності рекомендується освітленість:

$$E = 300 \dots 500 \text{ лк}$$

Освітлення повинно забезпечувати:

- відсутність сліпучої дії;
- рівномірність світлового потоку;
- достатню видимість контурів деталі.

5.7. Пожежна безпека

При лазерному різанні існує ризик займання:

- мастильних матеріалів;
- пилу;
- полімерних покриттів.

Для запобігання пожежам необхідно:

- очищати робочу зону від горючих матеріалів;
- забезпечити наявність вуглекислотних вогнегасників;
- проводити регулярне очищення вентиляційних систем.

При термообробці:

- перегрів електрообладнання.

Категорія приміщення за пожежною небезпекою визначається відповідно до технологічного обладнання та матеріалів.

5.8. Ергономічні вимоги

При виконанні операцій контролю та встановлення заготовок необхідно:

- забезпечити раціональну робочу позу;
- мінімізувати ручне переміщення вантажів;
- використовувати регульовані робочі столи.

Температура повітря в приміщенні повинна підтримуватися в межах:

18 – 22 °C

а відносна вологість:

40 – 60 %

5.9. Загальний висновок

У результаті аналізу встановлено, що найбільшу небезпеку під час виготовлення нервюри становлять лазерне випромінювання, піч для термообробки, рухомі елементи пресового обладнання, електричний струм та виробничий шум. Запропоновані технічні й організаційні заходи забезпечують безпечне виконання операцій лазерного різання та листового штампування, знижують ризик виробничого травматизму та забезпечують відповідність умов праці вимогам чинних нормативних документів.

					ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

ВИСНОВОК

В результаті даної роботи було оцінено технологічність заданої деталі «нервюра», де найбільше уваги було приділено носовій частині, адже отримання її геометрії у порівнянні з іншими елементами було більш комплексним. На початку роботи було проведено літературний огляд з різними підходами щодо формоутворення даної носової частини.

Для виготовлення деталі було обрано стан матеріалу, відповідні методи обробки та їх послідовність.

Було проведено чисельне моделювання у середовищі DEFORM для отримання більш точних параметрів для оцінки технологічності деталі та можливих варіантів щодо конструктивних змін деталі для приведення її до технологічного виду.

Результатами чисельного моделювання стала зміна внутрішнього радіусу заокруглення між зовнішнім бортом та дном деталі.

За допомогою програмного комплексу FORMING SUIT було розроблено розгортку деталі для розкрою.

Відповідно до уточненої геометрії деталі було спроектована та сконструйовано штамп суміщеної дії, зіставлено відповідну документацію на нього, а також обрано прес.

У підсумку, для деталі було повністю розроблено технологічний процес її виготовлення з проведеною технологічної оцінкою і наданими уточненнями стосовно геометрії та спроектовано відповідне оснащення.

					ДП.АТ2104.06.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

Література

1. ЕНДОГУР А.И. Конструкция самолетов. Конструирование деталей и узлов: Учебник. — М.; Изд-во МАИ, 2013. — 556 с.: ил.
2. ГОСТ 4784-97
3. ГОСТ 21631-76
4. Довідник конструктора штамів: Листове штампування/Під загал. ред. Л. І. Рудмана – М.: Машинобудування, 1988. – 496 с.: іл. – (Б-ка конструктора).
5. Романовський В. П. Довідник з холодного штампування – 6-е видання, переробл. Та доп. – Л. : Машинобудування. лєнінгр. відд., 1979. – 520 с.
6. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. и испр. /А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко М.: Машиностроение, 2003. 784 с.: илл.
7. «Комп'ютерні технології проектування процесів та машин»: лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів що навчаються за освітніми програмами: Прикладна механіка пластичності матеріалів, Технологія виробництва літальних апаратів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А.Д. Лавріненко, В.В. Піманов, В.М. Горностай. – Електронні текстові дані (1 файл, 5 Мбайт) – Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 138 с.
8. Грудєв А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. «Трение и смазки при обработке металлов давлением» (1982).
9. Орлюк М. В. – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». «ГРАНИЧНІ ЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ РУЙНУВАННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ВИТЯГУВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ DEFORM» НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.
10. Groover M.P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. 5th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
11. ГОСТ 15861-81
12. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Текст] : навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 164 с. ISBN 978-966-286-096-2
13. Керівний технічний матеріал РТМ 105-0-212-83. Галузева система технологічної підготовки виробництва. Проектування штамів для холодного листового штампування
14. ГОСТ 13126-83

15. ГОСТ 13113-83

16. ГОСТ 13118-83

17. ГОСТ 13120-83

18. Рудман Л. И. Наладка прессов для листовой штамповки : справочник. Москва :
Машиностроение, 1980. 219 с.

19. ГОСТ 16715-71

					<i>ДПАТ2104.06.000.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111