Міністерство освіти та науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Дослідження шляхів підвищення стійкості штампового оснащення

Виконав: магістрант групи 8.1333

Сегал Артем Максимович .
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
133.00.12 Металургійне обладнання
(шифр і назва)

Керівник Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О. .
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2024 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою А.О. Власов
_____
“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи магістра
Сегала Артема Максимовича .
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Дослідження шляхів підвищення стійкості штампового оснащення

керівник магістерської роботи к.т.н., доц. Васильченко Т.О.
затверджені наказом вищого навчального закладу від «28» лютого 2023 року № 359-с.

2. Строк подання студентом магістерської роботи 13 грудня 2024 року.

3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи пресового обладнання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. 1. Огляд та аналіз методів зниження паразитних навантажень та деформацій в виконавчих механізмах пресового обладнання; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1. Лист переходів технологічного процесу -1А1; Вирубний штамп - 3А1; Деталювання -1А1; Дослідження зношування технологічного інструменту від технологічного зазору листоштампувальний –2 А1

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
2	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
3	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
4	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	01.05.2024 – 27.05.2024	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.2024– 15.09.2024	
3	Виконання теоретичної частини проекту	16.09.2024 – 16.10.2024	
4	Виконання графічної частини проекту	17.10.2024– 17.11.2024	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	18.11.2024– 30.11.2024	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.2024 – 03.12.2024	
7	Попередній захист проекту	04.12.2024	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____ _С.М.Сегал_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____Т.О. Васильченко_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Сегал А.М. Дослідження шляхів підвищення стійкості штампового оснащення .

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник Т.О. Васильченко. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра металургійного обладнання, 2024.

В роботі визначені напрями підвищення стійкості штампового оснащення методами математичного моделювання з метою вивчення впливу різних параметрів на довговічність і ефективність роботи штампів, а також прогнозування їх поведінки під час експлуатації. Запропонована методика дозволяє прогнозувати рівень зносу робочого інструмента під час виконання операцій розділення в умовах холодного штампування тонколистового матеріалу.

Ключові слова: ПРЕС, ШТАМП, ПУАНСОН,МАТРИЦЯ, ЗНОШУВАННЯ.

ABSTRACT

Segal A.M. Research on Ways to Increase the Stability of Stamping Equipment.

Qualifying final work for master's degree in specialty 133 - Sectoral engineering, scientific supervisor T.O.Vasylchenko. Zaporozhye National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2024.

The paper identifies directions for improving the stability of stamping tooling by mathematical modeling methods in order to study the influence of various parameters on the durability and efficiency of stamping tools, as well as to predict their behavior during operation. The proposed methodology makes it possible to predict the level of wear of the working tool during separation operations in the conditions of cold stamping of thin-sheet material.

Keywords: PRESS, DIE, PUNCH, DIE, WEAR.

ЗМІСТ

Вступ 7

1. Огляд та аналіз методів підвищення стійкості штампового оснащення 9

1.1 Фактори, що впливають на стійкість штампувального оснащення 9

1.2 Види зносів і пошкоджень штампувального оснащення 14

1.3 Шляхи підвищення стійкості штампувальної оснастки 16

1.4 Обґрунтування обраного напряму роботи 20

2. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі та проєктування штампового оснащення 22

2.1 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі 22

2.1.1 Вибір та обґрунтування оптимального варіанту технологічного процесу виготовлення деталі 23

2.1.2 Визначення форми і розмірів заготівлі 25

2.1.3 Розкрий матеріалу 28

2.1.4 Розрахунок технологічного процесу 31

2.1.5 Вибір пресового обладнання 35

2.1.6 Розрахунок трудомісткості виготовлення деталі 36

2.7 Конструювання та розрахунок штампу 37

2.2.1 Конструювання та розрахунок на міцність робочих деталей штампу 39

2.2.2 Розрахунок плити на міцність 45

3. Дослідження шляхів підвищення стійкості штампувального обладнання за допомогою методів математичного моделювання 46

3.1 Модель зношування штампувального інструменту 48

3.2. Результати розрахунків та аналіз отриманих даних 51

4 Охорона праці в галузі та техногенна безпека 62

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих факторів 62
4.2 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних виробничих факторів 63
4.3 Виробнича санітарія 65
4.4 Заходи з пожежної безпеки 67
Загальні висновки та рекомендації 69
Список використаних посилань 70
Список виконаних креслень 73
Додатки 74

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне машинобудування неможливе без активного впровадження новітніх технологій, обладнання, оснащення та інструментів. Одним із ключових напрямів є широке використання технологій обробки матеріалів тиском. Ці методи відзначаються високою ефективністю, адже вони дають змогу суттєво знизити трудомісткість виготовлення деталей, підвищити коефіцієнт використання матеріалу, а в багатьох випадках і уникнути подальшої механічної обробки, отримуючи готові вироби. Однак серйозною проблемою при впровадженні таких технологій залишається висока вартість технологічного оснащення та інструментів.

Стійкість штампувального оснащення визначається здатністю інструментів витримувати великі механічні навантаження, високі температури та інші екстремальні умови без значних дефектів, пошкоджень або зносу. В умовах серійного виробництва, де одна й та сама деталь виготовляється в великих обсягах, штампувальне оснащення зазнає великих навантажень. Це призводить до поступового зношення, зміни форми та погіршення якості виробів.

Практичний досвід виробництва свідчить, що підвищений знос ріжучих поверхонь штампів для розділових операцій істотно впливає на якість штампованих деталей, погіршуючи її. Крім того, знос збільшує опір різанню до 20% і підвищує загальні витрати енергії на різання до 40% у порівнянні з інструментом із гостро заточеними ріжучими крайками.

Підвищення стійкості штампувального оснащення є одним із основних завдань для забезпечення довговічності інструментів, зменшення частоти їх заміни і, відповідно, зниження витрат на виробництво. Для досягнення цих цілей особливо важливим є використання математичного моделювання, яке дозволяє прогнозувати поведінку оснащення в реальних умовах роботи та оптимізувати його конструкцію, тому робота, спрямована на вивчення цих питань, є актуальною.

Метою роботи є підвищення стійкості штампувального оснащення за допомогою методів математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів дослідження зносу елементів штампового оснащення.

- виконати моделювання процесу зносу робочого інструменту за допомогою методу скінченних елементів.

- Визначити вплив заданих параметрів на рівень зносу поверхні робочого інструменту.

Об'єкт дослідження –зношення робочого інструменту.

Предмет дослідження чисельна оцінка стійкості штампувального оснащення.

Методи дослідження. Використані методи інженерного аналізу та автоматизованого проектування конструкцій.

Відомості про апробацію результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально- економічного розвитку регіонів України» (Запоріжжя, ЗНУ, 2023).

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається з вступу, чотирьох основних розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та виконаних креслень та додатків. Загальний обсяг роботи 99 сторінок, 30 рисунків, 8 таблиць, список використаних джерел з 24 позицій та 3 додатка.

1 Огляд та аналіз методів підвищення стійкості штампового оснащення

1.1 Фактори, що впливають на стійкість штампувального оснащення

Штампування — це процес, при якому заготовка з листового металу піддається механічному впливу, результатом якого є формування деталі заданої форми.

Процес зазвичай включає такі етапи:

1. Завантаження заготовки — заготовка подається на штамп.
2. Формування — за допомогою пуансона і матриці відбувається деформація матеріалу.
3. Виведення деталі — заготовка, що зазнала деформації, виводиться із зони штампування.

Штампувальне оснащення є невід'ємною частиною технологічного процесу штампування, яке використовується для обробки металу шляхом формування виробів із листових або смугових матеріалів. Це оснащення забезпечує високу точність і якість готових виробів, а також має велике значення для ефективності і економічності виробничого процесу. Для забезпечення тривалого терміну служби та стабільної роботи штампувального оснащення необхідно враховувати його конструктивні особливості та зовнішні фактори, які впливають на його стійкість.

Штамп включає в себе різноманітні деталі та елементи, які виконують функції для забезпечення обробки матеріалу в процесі штампування. Найбільш основними елементами є:

- матриця — частина, в якій формується деталь;
- пуансон — частина, що надає матеріалу необхідну форму при натисканні;

- опори і рамки — елементи, які забезпечують кріплення штампів і їх стабільність під час роботи. Вони виконують роль підтримки і надають необхідну жорсткість;

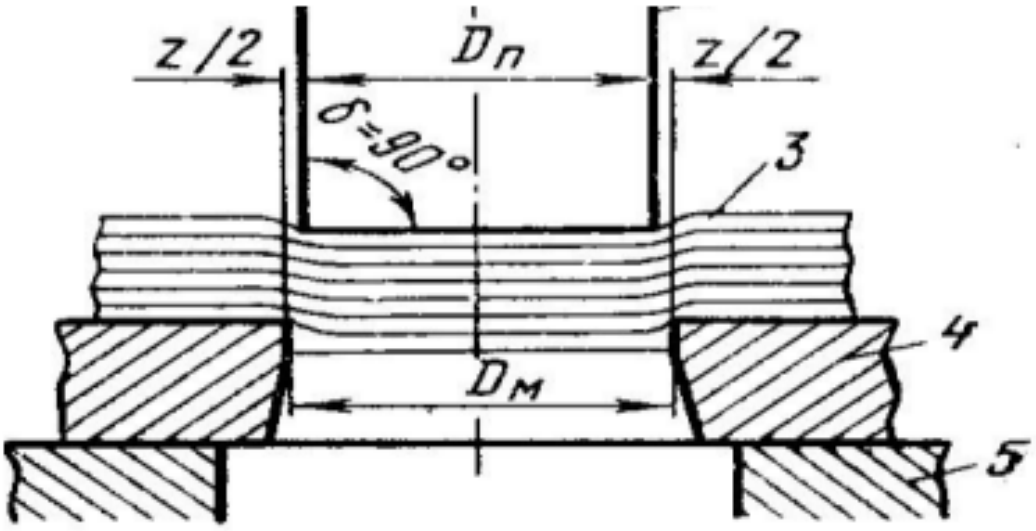
- пружини та механізми для підйому — механізми для автоматичного виведення заготовки після її обробки або для виведення штампів після роботи;

-приводи і механізми натискання — пристрої, які створюють зусилля для формування деталі, що може бути виконано за допомогою гідравлічних або механічних систем.

Умови експлуатації штампового інструменту, як для холодного, так і для гарячого деформування, залежать від кількох факторів, зокрема, від величини тиску, який припадає на поверхню інструменту, характеру навантаження та температури нагріву робочих частин.

Інструменти для холодного деформування, такі як вирубні штампи, працюють під великими питомими тисками, що можуть досягати 2200-2500 МПа. Температура розігріву ріжучих кромок при штампуванні м’яких матеріалів становить до 150-200ºС, а при обробці високоміцних матеріалів температура може досягати 400-500ºС.

Приклад процесу вирубки-пробивки представлений на рис.1.1



1 – повзун; 2 – пуансон; 3 – заготовка; 4 – матриця; 5 – стіл пресу

Рисунок1.1 – Схема процесу вирубки-пробивки :

На початку вдавлення пуансону в заготовку, остання деформується, утворюючи зону зминання поблизу ріжучих кромок пуансона і матриці. Це викликає концентрацію напружень, яка сприяє зміщенню металу і утворенню зони зминання. Коли напруження досягають певного рівня по всій товщині заготівлі, виникає лінія ковзання, що ініціює деформацію, включаючи вигин і розтягування, що призводить до появи тріщин. Після того, як тріщини збігаються, відбувається розрив контуру вирубки. Для остаточного відділення деталі необхідно подолати тертя між поверхнями зрізу та іншими частинами деталі, що контактують з матрицею. Сила, яка потрібна для вирубки чи пробивання, залежить від кількох факторів, зокрема товщини матеріалу, форми ріжучих крайок пуансона і матриці, а також величини зазору між ними.

Стійкість штампувального оснащення визначається здатністю інструменту витримувати великі навантаження та температурні коливання протягом тривалого часу без втрати ефективності та виникнення пошкоджень. Основні фактори, що впливають на стійкість, включають:

1. Матеріали для виготовлення штампів

Матеріали, з яких виготовлені інструменти та оснащення, є одним з основних факторів, що визначають їх стійкість. Високоякісні матеріали мають більшу стійкість до механічного зносу, термічного впливу та корозії. Зокрема, для штампів використовуються спеціальні сплави з високим вмістом вуглецю та легуючих елементів, які забезпечують високу твердість і міцність. Матеріали для виготовлення штампів повинні володіти такими властивостями:

- **Висока твердість** — забезпечує стійкість до зносу.
- **Термостійкість** — здатність витримувати високі температури при роботі з гарячими заготовками.
- **Стійкість до корозії** — важлива при обробці агресивних середовищ або в умовах високої вологості.
- **Міцність на злам** — важлива при підвищених навантаженнях.

2. Механічні навантаження :

при штампуванні на інструмент діють великі механічні навантаження, які можуть викликати зношення, деформацію та навіть поломки інструментів. Основними механічними навантаженнями є навантаження на пуансон і матрицю в результаті високого тиску, що виникає при обробці заготовки

3. **Температурні навантаження*:***

при роботі штампувального оснащення температура на робочих поверхнях інструментів може значно підвищуватися. Це впливає на стійкість матеріалів, з яких виготовлені інструменти. Високі температури можуть призвести до:

- термічного зносу матеріалу;
- термічної деформації конструктивних елементів;
- зниження твердості матеріалу при перевищенні певної температури;

4. **Швидкість роботи*:***

висока швидкість роботи призводить до:

- збільшення тертя між матеріалом і інструментом;
- підвищення температури, що може прискорити знос;-
- вищі вібрації, що можуть призвести до деформацій.

5. **Вібрації та ударні навантаження*:***

у процесі роботи інструмент може піддаватися вібраціям або ударним навантаженням, що викликає додаткові навантаження на матеріал. Це може призвести до виникнення тріщин, деформацій або зниження точності процесу штампування.

6. **Хімічні фактори**:

якщо процеси штампування проводяться в агресивному середовищі (наприклад, при використанні змазок або охолоджуючих рідин), то хімічна взаємодія між матеріалом і навколишнім середовищем може сприяти корозії або зносу інструменту.

7. Неправильне налаштування обладнання

Неправильне налаштування штампувальних машин та інструментів може призвести до нерівномірного навантаження на оснащення, що збільшує

ймовірність його зношування або поломки. Важливо точно налаштовувати пресове обладнання, враховуючи розміри заготовок, їх масу та матеріал.

8. Погана якість заготовок

Низька якість оброблюваних заготовок, таких як нерівномірний склад або наявність в них домішок, може значно вплинути на стійкість штампувального оснащення. Тверді частки, вм'ятини або тріщини можуть викликати нерівномірне навантаження на інструменти і прискорити їх знос.

9. Необхідність технічного обслуговування та своєчасного ремонту

Для забезпечення високої стійкості штампувального оснащення необхідно регулярно проводити технічне обслуговування та своєчасний ремонт інструментів. Огляд, змащування, точне налаштування та заміна зношених частин допомагають продовжити термін служби оснащення.

10. Охолодження та змащування

Правильне охолодження та змащування інструментів є важливими факторами, які допомагають зменшити тертя, а також знизити температурні навантаження на оснащення. Використання спеціальних охолоджувальних рідин і змащувальних матеріалів дозволяє зменшити термічний і механічний знос, підвищити точність обробки та збільшити стійкість штампувальних інструментів.

Якщо зробити акцент на стійкості штампувального штампів, призначених для розділових операцій, то ще одним фактором впливу на стійкість його елементів є величина технологічного зазору між матрицею та пуансоном. Величина зазору між матрицею та пуансоном має значний вплив на процес розділення матеріалу, зокрема на опір вирубки. Дослідження показали, що найменший опір вирубки досягається при певних середніх значеннях зазору для кожного матеріалу та товщини заготовки (від 5 до 16% від товщини матеріалу, коли товщина знаходиться в межах 1-10 мм). Якщо зазор занадто малий (менше ніж 5% від товщини) або надто великий (більше 20-30% від товщини), опір вирубки збільшується, що вимагає більших зусиль для виконання операції. Це пояснюється тим, що при малому зазорі з’являються додаткові напруження через

тертя, а при великому — через вигин. У результаті, загальний опір вирубці збільшується на 15-20%. Таким чином, оптимальні зазори забезпечують найефективнішу роботу, з мінімальними зусиллями та опором. Для кожного матеріалу і товщини існують свої оптимальні значення зазорів, які дозволяють досягти мінімального опору та зусиль вирубки.

1. 2 Види зносів і пошкоджень штампувального оснащення

В процесі роботи штампи піддаються різним типам зносу, кожен з яких має свої механізми та впливає на загальний ресурс оснащення. Зношування може бути механічними, термічними чи хімічними.

Різні види зносів штампів — механічний, термічний і хімічний — мають різні механізми прояву, але в сукупності вони спричиняють значні зміни в працездатності та довговічності штампувального оснащення. Врахування цих факторів під час проектування та експлуатації штампів допомагає знижувати знос інструментів, покращувати якість виробів і зменшувати витрати на обслуговування, що сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів.

Механічне зношування

Механічне зношування— це процес поступового руйнування поверхні штампа, що викликається тривалою взаємодією з матеріалом заготовки або внаслідок абразивного впливу. Він є найпоширенішим типом зносу в процесах штампування, оскільки штампи постійно піддаються механічним навантаженням. Механічний знос включає в себе підвиди:

- абразивний знос. Він виникає в результаті тертя між штампом і матеріалом заготовки. Якщо заготовка містить тверді частки (наприклад, пісок, окислені частки металу або інші абразивні матеріали), вони можуть спричинити інтенсивне стирання поверхні штампа. В результаті цього на поверхні інструменту можуть з'являтися мікротріщини, що в подальшому призводить до втрати точності формування.
- пластичний знос. Під час роботи штампів, особливо при значних навантаженнях, може відбуватися деформація матеріалу інструменту через

пластичне ковзання. Це спричиняє утворення мікронапружень в металевій структурі штампа, що поступово призводить до змін у його форми (деформації або зниження точності).

- контактний знос. Виникає коли на поверхні інструменту виникають нерівності, а частини штампа можуть зіткнутися з матеріалом під значним тиском Це може призвести до утворення відколів, що знижують точність роботи.

Механічний знос впливає на точність формування, викликаючи зміни в розмірах виробу, а також знижує ефективність штампування, оскільки інструменти втрачають свою здатність рівномірно деформувати заготовку. Це знижує якість готової продукції і може вимагати частішого обслуговування або заміни інструментів.

Термічне зношування.

Термічний знос виникає внаслідок високих температур, які виникають у процесі роботи штампувального оснащення. Температура може досягати критичних рівнів через тертя, швидкість обробки, вплив високих температур під час обробки гарячих заготовок або через застосування змащувальних та охолоджувальних рідин. Основні механізми термічного зносу включають:

- термічну деформацію. Коли температура підвищується до певного рівня, це може спричиняти зміни в структурі матеріалу штампа, зокрема його розширення чи зміщення, що може змінити геометрію інструмента. Це відображається на точності обробки, і в результаті продукція може мати недоліки.
- окислення. При високих температурах може виникати окислення поверхні штампа, що призводить до утворення оксидних плівок, які знижують ефективність роботи інструменту. Окиснення також може стати причиною зниження стійкості до корозії та механічних навантажень.
- втрату твердості. Багато матеріалів, з яких виготовляються штампи, втрачають свою твердість при підвищених температурах. Це знижує їх здатність витримувати навантаження та може призвести до підвищеного зносу та деформації.

Термічний знос може призвести до зниження стійкості інструменту до механічних навантажень. Втрата твердості і зміна геометрії штампа відображаються на якості виготовленої продукції, а також скорочують ресурс штампа, що вимагає його частішої заміни або обробки.

Хімічне зношування

Хімічний знос виникає, коли поверхня штампа піддається впливу хімічних реагентів, таких як змазки, охолоджувальні рідини, гази або продукти корозії, що утворюються під час роботи. Хімічний знос може мати різні прояви, зокрема:

- корозію. Взаємодія між інструментом і агресивним середовищем може призвести до корозії металу. Це може статися, коли змазки або охолоджувальні рідини містять кислотні чи лужні компоненти, що активують корозійні процеси на поверхні штампа.
- хімічне абразивне зношування. У деяких випадках матеріали заготовок можуть реагувати з поверхнею штампа, що призводить до хімічного руйнування інструменту. Наприклад, деякі металеві або не металеві матеріали можуть викликати ерозію або корозію, що призводить до інтенсивнішого зносу штампа.
- вивітрювання матеріалу. Кислоти та інші хімічні компоненти можуть спричиняти розкладання матеріалу на молекулярному рівні, що робить його більш схильним до механічних пошкоджень і деформацій.

Хімічний знос може викликати порушення цілісності матеріалу штампа, що призводить до локальних ослаблень і втрати точності інструменту. Це знижує його ефективність, збільшує ймовірність утворення тріщин та дефектів на робочих поверхнях і, зрештою, вимагає проведення ремонтних робіт або заміни інструмента.

1.3 Шляхи підвищення стійкості штампувальної оснастки

Проблема підвищення стійкості штампувального оснащення є актуальною в сучасному машинобудуванні, оскільки штампи часто виходять з ладу через знос основних робочих частин (матриці та пуансона). Для вирішення цієї

проблеми досліджено різні підходи, які включають конструктивно-технологічні рішення, нові матеріали та методи зміцнення.

Основні напрямки підвищення стійкості є

1. **Матеріали і покриття**:
    - Застосування високотвердих матеріалів для виготовлення робочих частин штампів, таких як твердосплавні або загартовані сталі.
    - Використання іонно-плазмових покриттів для підвищення зносостійкості, що забезпечують захист від абразивного зносу та злипання матеріалу на ріжучих кромках.
2. **Поверхневе зміцнення**:
    - Технології електроіскрового легування та дробоструминної обробки дозволяють збільшити твердість і мікротвердість поверхневих шарів, знижуючи ймовірність деформацій і руйнування.
    - Застосування методів поверхневого пластичного деформування для створення зміцнюючого шару.
3. **Оптимізація конструкції**:
    - Уникнення несоосності пуансона та матриці, яка призводить до нерівномірного зносу.
    - Використання направляючих пристроїв та спеціального кріплення для забезпечення рівномірного розподілу навантажень.
4. **Зазори між ріжучими елементами**:
    - Коректний підбір зазору між пуансоном і матрицею дозволяє мінімізувати навантаження на ріжучі кромки та уникнути виникнення задирок і дефектів на поверхнях деталей.
5. **Профілактика та обслуговування**:
    - Регулярне переточування та контроль стану робочих поверхонь продовжують термін експлуатації штампів.

Встановленню оптимальних технології, матеріалів для нанесення покриття, твердості та товщини покриття бічних поверхонь ріжучих елементів вирубних штампів присвячені роботи [3,4]. Дослідження показують, що для підвищення стійкості штампів необхідно формувати на поверхні ріжучих кромок

шар матеріалу з такими властивостями, які забезпечують максимальний опір різним видам впливів та перешкоджають негативним структурним змінам під час роботи штампу. Ефективність покриттів зумовлена тим, що зона активації при терті дуже мала, її глибина складає лише 10-15 мкм. Тому, наносячи покриття, основні взаємодії обмежуються лише цим шаром. Покриття діє як бар'єр, що захищає ріжучі кромки від пошкоджень та налипання матеріалу заготовки, особливо на етапі припрацювання. Важливо забезпечити мінімальні пошкодження ріжучих кромок та стабільність термомеханічної активації поверхні до моменту адаптації. Це досягається переважно завдяки високій твердості покриття, що підвищує мікротвердість і межу текучості, збільшуючи опір ріжучих кромок до зминання[5] .

Як зазначають дослідження [6], стійкість карбувальних штемпелів може значно варіювати через випадкові чинники, оскільки процес їх руйнації включає дві стадії: зародження тріщини, на яке впливає стан поверхні та концентрація напружень, та стадію поширення тріщини. Для кожної стадії є свої механізми, і підвищення характеристик тріщиностійкості є важливим фактором для запобігання руйнації.

В роботі [7,8] оозроблено комбіновані методи нанесення зносостійких покриттів, які об'єднують електрофізичні та електрохімічні технології з методами поверхневого пластичного деформування. Створено та випробувано обладнання, призначене для формування й тестування т комбінованих покриттів.

Електроіскрове легування карбідами вольфраму або титану забезпечує формування дифузійного шару товщиною до 50 мкм, що значно збільшує термін служби інструментів. Це підтверджено дослідженнями в області модифікації поверхонь штампів за допомогою високошвидкісного нагріву локальних зон [9]

В роботі [11] проведено аналіз основних напрямків підвищення довговічності штампового інструменту при листовом у штампуванні і встановлено, що під час проєктування розділювальних штампів головним завданням є скорочення часу розробки і підвищення довговічності основних компонентів, таких як матриця і пуансон. Тривалість служби цих елементів можна суттєво збільшити за допомогою технологічних рішень.

Зокрема, комплексне застосування методів зміцнення поверхонь дозволяє підвищити стійкість пуансонів і матриць у 1,5–2 рази. Одним із найефективніших підходів є нанесення покриття з нітриду титану за допомогою іонно-плазмового методу. Крім того, використання мастильних матеріалів допомагає продовжити термін експлуатації вирубних штампів на 1,3–1,7 разів.

Робота [12] присвячена підвищенню строків служби вирубних штампів шляхом створення на пуансонах та матрицях робочого шару, насиченого карбідами тугоплавких металів.

В роботі [13] розглядаються вплив термообробки на механічні властивості наплавленого металу в штампових сталях.

Методи зміцнення поверхні штампів за рахунок нанесення захисних покриттів мають низку недоліків, які можуть обмежувати їх ефективність або сферу застосування, основними з яких є те, що нанесення покриттів вимагає складного і дорогого обладнання (наприклад, для іонно-плазмових технологій або вакуумного напилення), багато процесів нанесення покриттів є енергоємними, що збільшує собівартість виробництва. До того ж рівномірність покриття може бути проблемою для інструментів зі складною геометрією, особливо у важкодоступних зонах, можливе відшарування покриття на складних поверхнях через нерівномірність шару.

Сучасні патенти пропонують конструкції штампів із покращеною системою охолодження, що зменшує теплові деформації. Деякі з них включають змінні робочі елементи, які спрощують заміну зношених частин, тим самим зменшуючи витрати на обслуговування.

Математичне моделювання відіграє ключову роль у вирішенні цього завдання, оскільки дозволяє передбачити знос інструментів, оптимізувати їх конструкцію та матеріали, а також знизити витрати на обслуговування. Завдяки математичним методам можна значно покращити якість штампувального оснащення та збільшити його ресурс, що є важливим фактором для забезпечення конкурентоспроможності підприємств на ринку.

1.4 Обґрунтування обраного напряму роботи

Штампувальне оснащення є основним елементом технології штампування, що забезпечує виготовлення деталей складної форми. Зниження стійкості оснащення призводить до його передчасного зносу, що в свою чергу, збільшує витрати на його заміну та обслуговування. Використання математичного моделювання дозволяє прогнозувати робочі характеристики оснащення, оптимізувати його конструкцію і вибір матеріалів, що сприяє збільшенню ресурсу та зменшенню витрат. Використання математичних моделей дозволяє вивчати механізми зносу, термічні процеси, навантаження на інструменти та взаємодію матеріалів без необхідності проведення дорогих експериментів. Це дозволяє:

- **прогнозувати знос і пошкодження**: математичні моделі можуть передбачити, як будуть змінюватися характеристики штампувального оснащення під час роботи, зокрема, як змінюється інтенсивність зносу залежно від робочих умов.
- **оптимізувати конструкцію оснащення**: аналізуючи результати моделювання, можна внести зміни в конструкцію штампів і матриць, що дозволяє зменшити навантаження на окремі частини інструменту.
- **підбирати оптимальні матеріали**: моделювання дозволяє передбачити, які матеріали краще витримують високі навантаження і температури, а також забезпечують більш тривалий термін служби.
- **оцінювати вплив різних факторів**: можна аналізувати вплив різних змінних, таких як температура, швидкість роботи, тип матеріалу на знос і стійкість оснащення.

Математичне моделювання також дозволяє оптимізувати технологічні процеси, що впливають на стійкість оснащення, таких як техніка обробки поверхонь, застосування спеціальних покриттів або покращених матеріалів. Це забезпечує значне скорочення часу на проектування та тестування нових варіантів оснащення.

Отже, з огляду на вищезазначене, основною метою роботи є підвищення стійкості штампувального оснащення за допомогою методів математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів дослідження зносу елементів штампового оснащення.

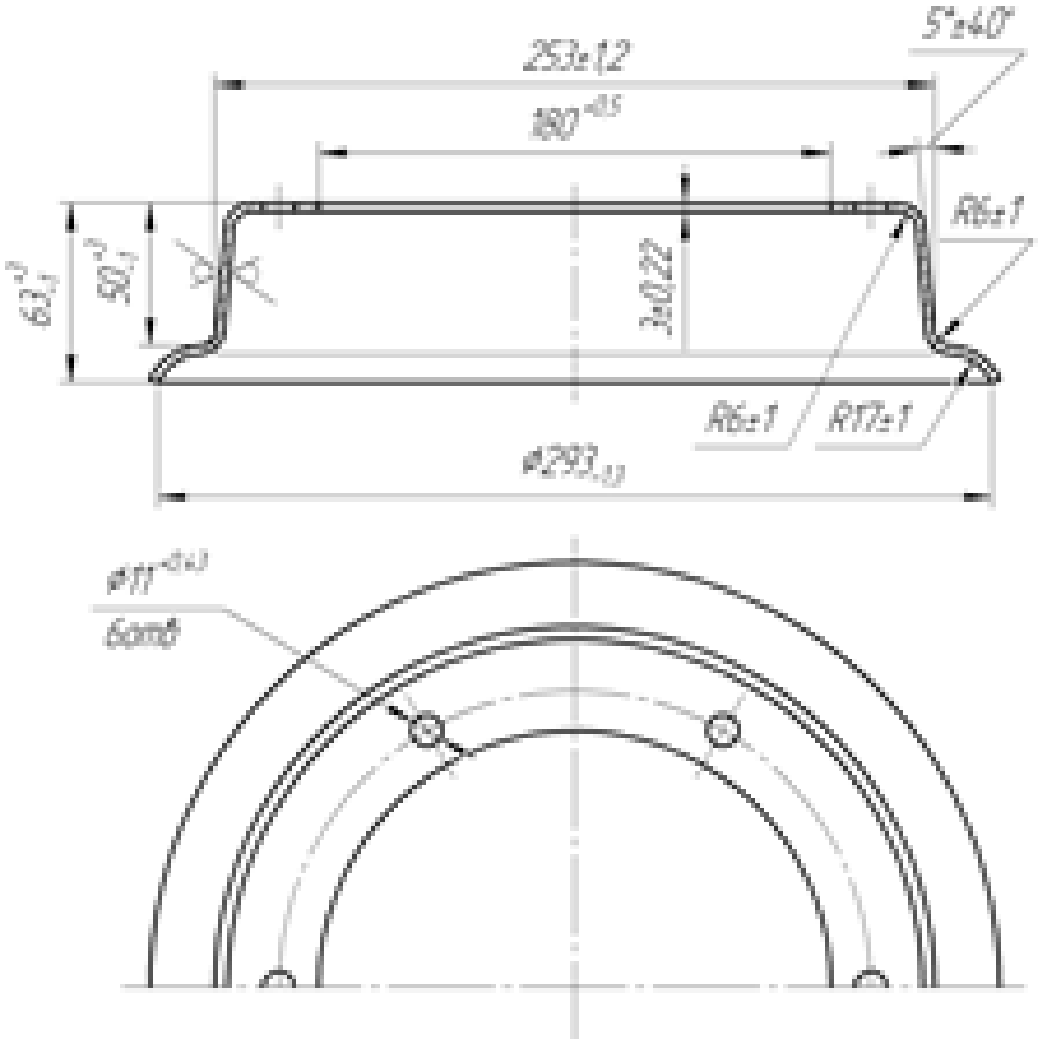
- виконати моделювання процесу зносу робочого інструменту за допомогою методу скінченних елементів.

- Визначити вплив заданих параметрів на рівень зносу поверхні робочого інструменту.

2. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі та проектування штампового оснащення

2.1 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Для детальної розробки вибрана деталь «екран», представлена на рис.2.1.



Рисувнок 2.1 - Екран

Перед початком розробки технологічного процесу штампування необхідно провести аналіз деталі на технологічність. Технологічність визначається як сукупність властивостей і конструктивних характеристик, які забезпечують максимально просте, економічне виготовлення деталі при дотриманні технологічних і експлуатаційних вимог.

Основними критеріями технологічності холодноштампувальних листових деталей є:

1. Мінімальні витрати матеріалу.
2. Скорочення кількості операцій і зменшення їх трудомісткості.
3. Виключення необхідності наступної механічної обробки.
4. Зменшення кількості необхідного обладнання та виробничих процесів.
5. Зниження витрат і строків підготовки виробництва за рахунок оптимізації оснащення.
6. Підвищення продуктивності як окремих процесів, так і всього цеху.

Основним результативним показником технологічності є мінімальна собівартість штампованих деталей. На етапі підготовки до технологічних розрахунків важливо оцінити здатність металу виконувати штампувальні операції, тобто його штампованість, яка залежить від таких характеристик, як механічні властивості, пластичність, модуль пружності, структура металу та хімічний склад.

Розглянута деталь — це порожнисте тіло обертання простої форми зі сталевим матеріалом (08кп) і товщиною стінки 1 мм. Враховуючи її характеристики, доцільно обрати операцію витяжки, яку проводять у стрічці. У цьому випадку товщина стінки залишається практично незмінною (витяжка без потоншення). Готова деталь відділяється від стрічки методом вирубування.

Щоб зменшити тангенціальні стискаючі напруження біля краю заготовки та радіальні розтягуючі напруження на витяжних кромках матриці, в місцях переходу збільшують радіуси заокруглень.

2.1.1 Вибір та обґрунтування оптимального варіанту технологічного процесу виготовлення деталі

Більшість деталей, які одержують методом холодного штампування Задана деталь може бути виготовлена різними методами. Необхідні операції штампування можуть виконуватися окремо на відповідних індивідуальних

штампах (диференційований метод) або поєднуватися в одному багатофункціональному або послідовному штампі (концентрований метод). Крім того, існують варіанти виконання цих операцій із різною послідовністю та їх об’єднанням у загальних або комбінованих штампах.

Перед вибором найкращого технологічного процесу слід врахувати фактори, які впливають на його побудову, а також їх важливість: тип заготівлі, спосіб отримання базових конструктивних елементів, технологію формоутворення, метод досягнення необхідних фізико-механічних властивостей, якість поверхні, ступінь механізації та автоматизації виробництва. Кожен із цих аспектів має унікальні характеристики, такі як форма й розміри заготівлі, конструктивні особливості штампів, режими обробки тощо.

У серійному виробництві пріоритетом є зменшення витрат матеріалів і скорочення кількості операцій за рахунок впровадження багатопозиційних штампів, що підвищують продуктивність і довговічність інструменту. Оскільки основою процесу виготовлення є операції витяжки та пробивки, важливо враховувати технологічні обмеження: уникати складних і асиметричних форм, застосовувати максимальні радіуси заокруглень на першій операції витяжки.

Різні методи виготовлення порівнюються за такими показниками, як коефіцієнт використання матеріалу, кількість операцій і обладнання, трудомісткість, складність інструментів і стійкість інструменту. Основним критерієм вибору є собівартість, а не лише трудомісткість.

З урахуванням зазначених вимог обрано виготовлення деталі на багатопозиційному автоматизованому пресі із застосуванням операцій «вирубка», «витяжка», «правка», «обрізка» та «пробивка».

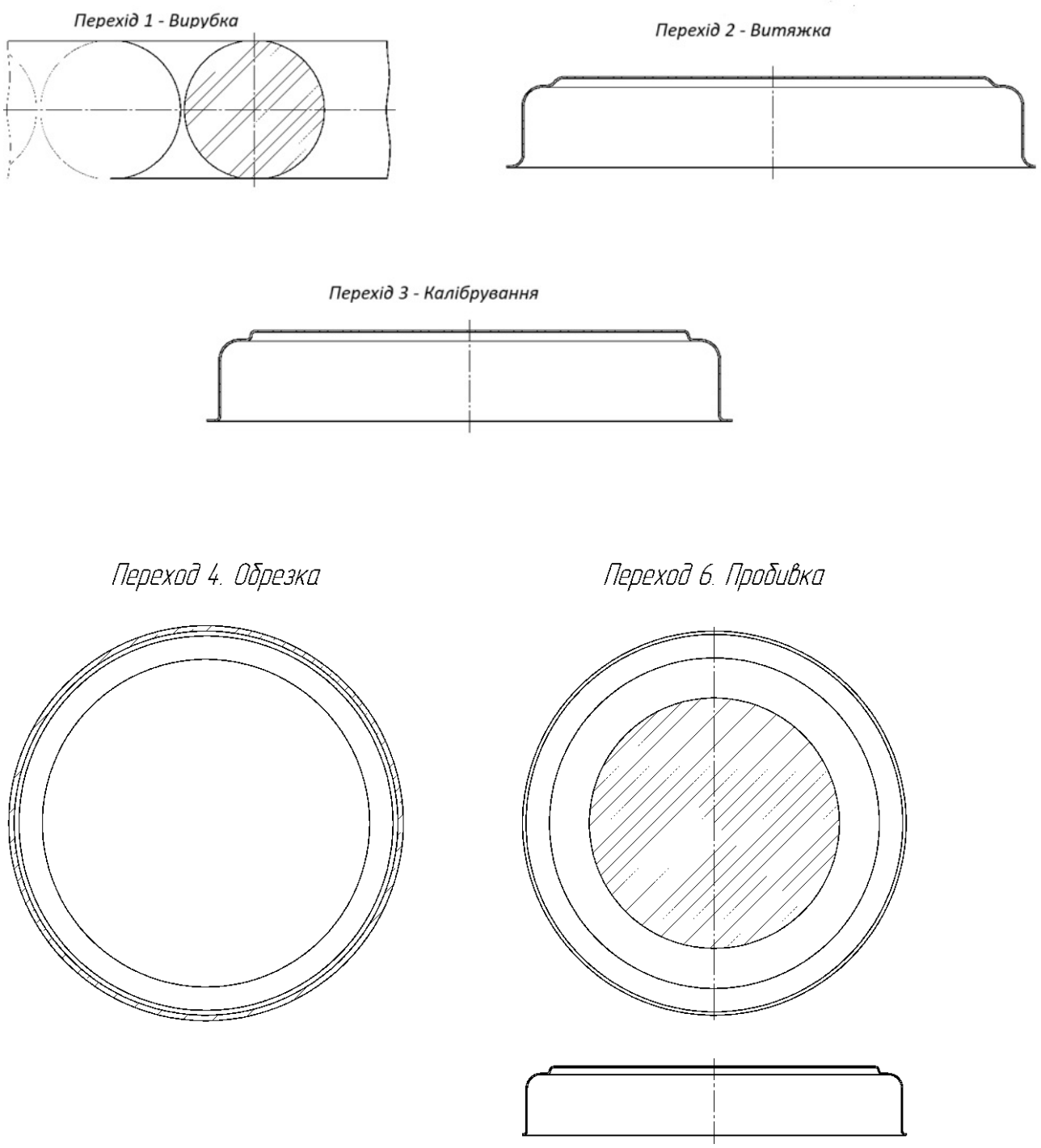


Рисунок 2.2 – Спосіб виготовлення деталі «Екран» .

2.1.2 Визначення форми та розмірів заготівлі

Існує три методи розрахунку: аналітичний, графічний та графоаналітичний. Всі вони є прийнятними для будь-якого виду штампувального виробництва. Однак, перевагу слід віддати першому методу, як найбільш доступному та універсальному для технолога та конструктора. До

безперечної його переваги належить можливість використання сучасної обчислювальної техніки. Він відрізняється більш високою точністю.

Аналітичний метод заснований на дотриманні рівності поверхонь деталі, що штампується, і заготівлі. Для деталей типу тіл обертання заготовка має форму кола, діаметр якої пов'язаний з поверхнею готової деталі наступною залежністю:

$$D_{ЗАГ} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \sum F},$$

де $D_{ЗАГ}$- Діаметр заготовки без урахування потонання стінок деталі;

$\sum F$- сума площ окремих ділянок поверхні деталі, побудованої з урахуванням припуску обрізання.

Враховуючи те, що товщина матеріалу s < 2, робимо розрахунок діаметра заготовки по середній лінії деталі (рис. 2.3):

$$D_3' = 1{,}13 \cdot \sqrt{F} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\sum f} \qquad (2.1)$$

$$f_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 = \frac{3{,}1416}{4} \cdot 234^2 = 43000 \text{ мм}^2$$

$$f_2 = \frac{\pi}{4} (2 \pi d_1 r + 8 r^2) = \frac{3{,}1416}{4} \cdot (2 \cdot 3{,}1416 \cdot 234 \cdot 2{,}5 + 8 \cdot 2{,}5^2) = 2930 \text{ мм}^2$$

$$f_3 = \frac{\pi}{4} (2 \pi d_2 r - 8 r^2) = \frac{3{,}1416}{4} \cdot (2 \cdot 3{,}1416 \cdot 244 \cdot 2{,}5 - 8 \cdot 2{,}5^2) = 2970 \text{ мм}^2$$

$$f_4 = \frac{\pi}{4} (d_3^2 + d_2^2) = \frac{3{,}1416}{4} \cdot (252^2 + 244^2) = 3120 \text{ мм}^2$$

$$f_5 = \frac{\pi}{4} (2 \pi d_3 R + 8 R^2) = \frac{3{,}1416}{4} \cdot (2 \cdot 3{,}1416 \cdot 252 \cdot 10{,}5 + 8 \cdot 10{,}5^2) = 13750 \text{ мм}^2$$

$$f_6 = \pi d_4 h = 3{,}1416 \cdot 273 \cdot 31 = 26590 \text{ мм}^2$$

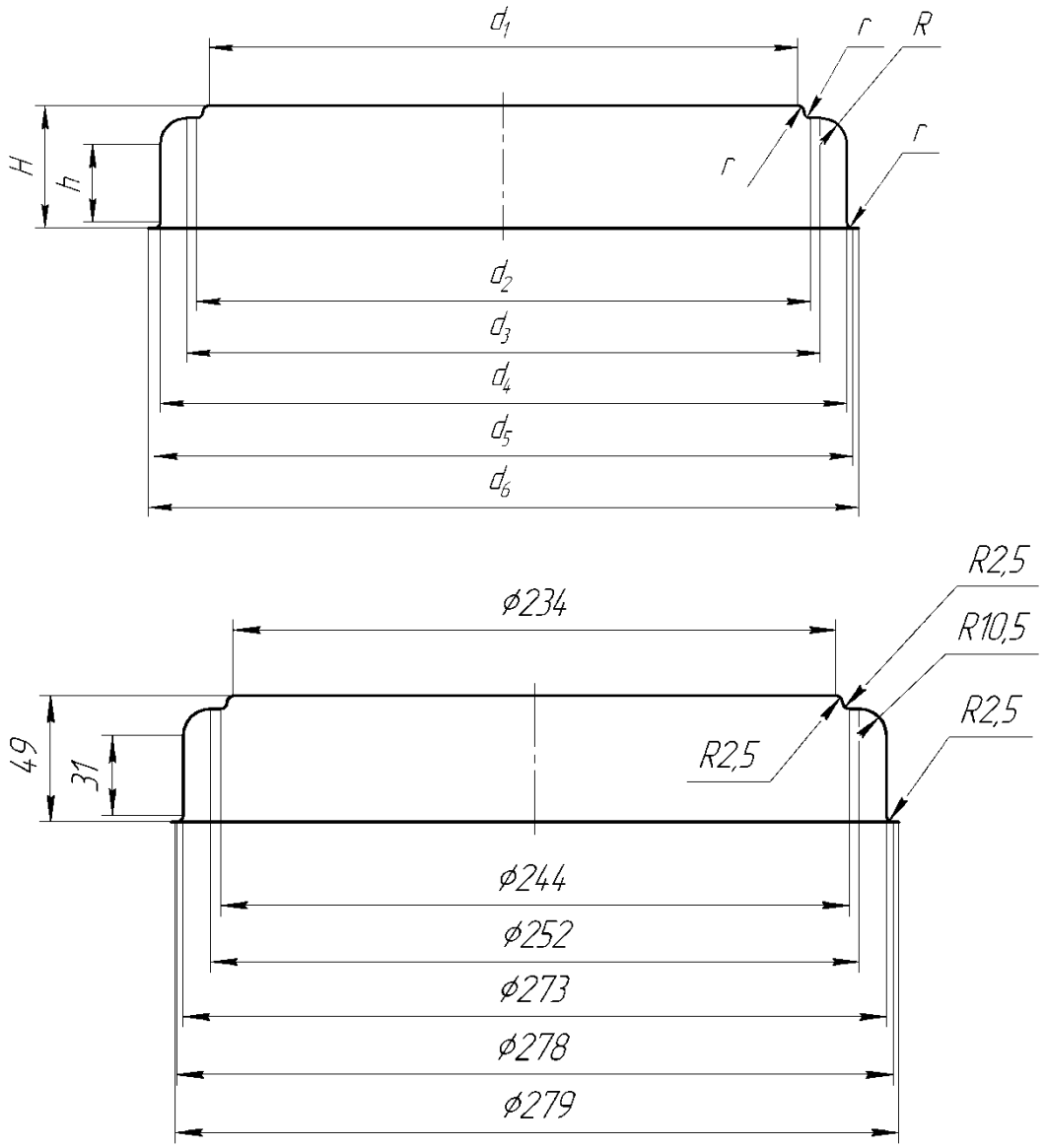


Рисунок 2.3 - Середня лінія деталей

$f_7 = \frac{\pi}{4}(2\pi d_5 r - 8r^2) = \frac{3{,}1416}{4} \cdot (2 \cdot 3{,}1416 \cdot 278 \cdot 2{,}5 - 8 \cdot 2{,}5^2) = 3390$ мм ^{2}

$f_8 = \frac{\pi}{4}(d_6^2 + d_5^2) = \frac{3{,}1416}{4} \cdot (279^2 + 278^2) = 440$ мм ^{2}

$\Sigma f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8$

$\Sigma f = 43000 + 2930 + 2970 + 3120 + 13750 + 26590 + 3390 + 440 = 96190$ мм ^{2}

$D_3' = 1{,}13 \cdot \sqrt{96190} = 350{,}5$

$$D_З = D_З' + b \qquad (2.2)$$

де $D_З$ - Фактичний діаметр заготівлі, мм;

$D_З'$ - Розрахунковий діаметр заготовки, мм;

b – припуск на обрізання , мм.

b = 6 мм [13]

$D_З = D_З' + 2 \cdot b = 362,5$

Приймаємо:

$D_З$ =364 мм

2.1.3 Розкрій матеріалу

Зменшення витрат металу та мінімізація відходів у холодному штампуванні мають велике значення, особливо у великосерійному та масовому виробництві. Навіть незначна економія металу на одиничному виробі у масштабах великого виробництва може забезпечити суттєве скорочення витрат. Досягти економії металу можна за рахунок таких заходів:

1. Оптимізація розкрою листів на заготовки чи смуги з мінімізацією відходів.
2. Ефективне розташування деталей на смузі під час розкрою.
3. Зменшення втрат металу за рахунок мінімізації перемичок.
4. Застосування методів безвідходного або маловідходного розкрою.
5. Підвищення точності розрахунків розмірів заготовок і зменшення припусків на обрізку.
6. Використання відходів для виготовлення інших деталей.
7. Запобігання браку під час штампування, а також зниження втрат металу при налагодженні та встановленні штампів.

Для обраного процесу послідовної витяжки застосовуємо прямий однорядний тип розкрою, що є ефективним з точки зору використання матеріалу та зменшення відходів.

Розкрій характеризується коефіцієнтом використання матеріалу (КВМ):

$$\eta = \frac{F_{ДЕТ}}{F_{ЗАГ}} \cdot 100\%, \qquad (2.3)$$

де η - коефіцієнт використання матеріалу;

$F_{ДЕТ}$- площа поверхні деталі;

$F_{ЗАГ}$- площа поверхні заготівлі.

$$КВМ_{стрічки} = \frac{F_{ДЕТ}}{F_{ЗАГ}} \cdot 100\% = \frac{F_{ДЕТ}}{B_0 \cdot T} \cdot 100\% = \frac{0{,}7854 \cdot D_{ЗАГ}^2}{(D_{ЗАГ} + b)(D_{ЗАГ} + 2a)} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{0{,}7854 \cdot 364^2}{(364 + 1.5)(364 + 2 \cdot 0)} \cdot 100\% = 78{,}2\%$$

Розрахунок розкрою матеріалу

Вихідні дані:

форма деталі – кругла;

діаметр заготовки - 364 мм;

величина перемичок:

a = 1,8 [14]

b = 1,4 [14]

a = 2 мм, b =1,5 мм

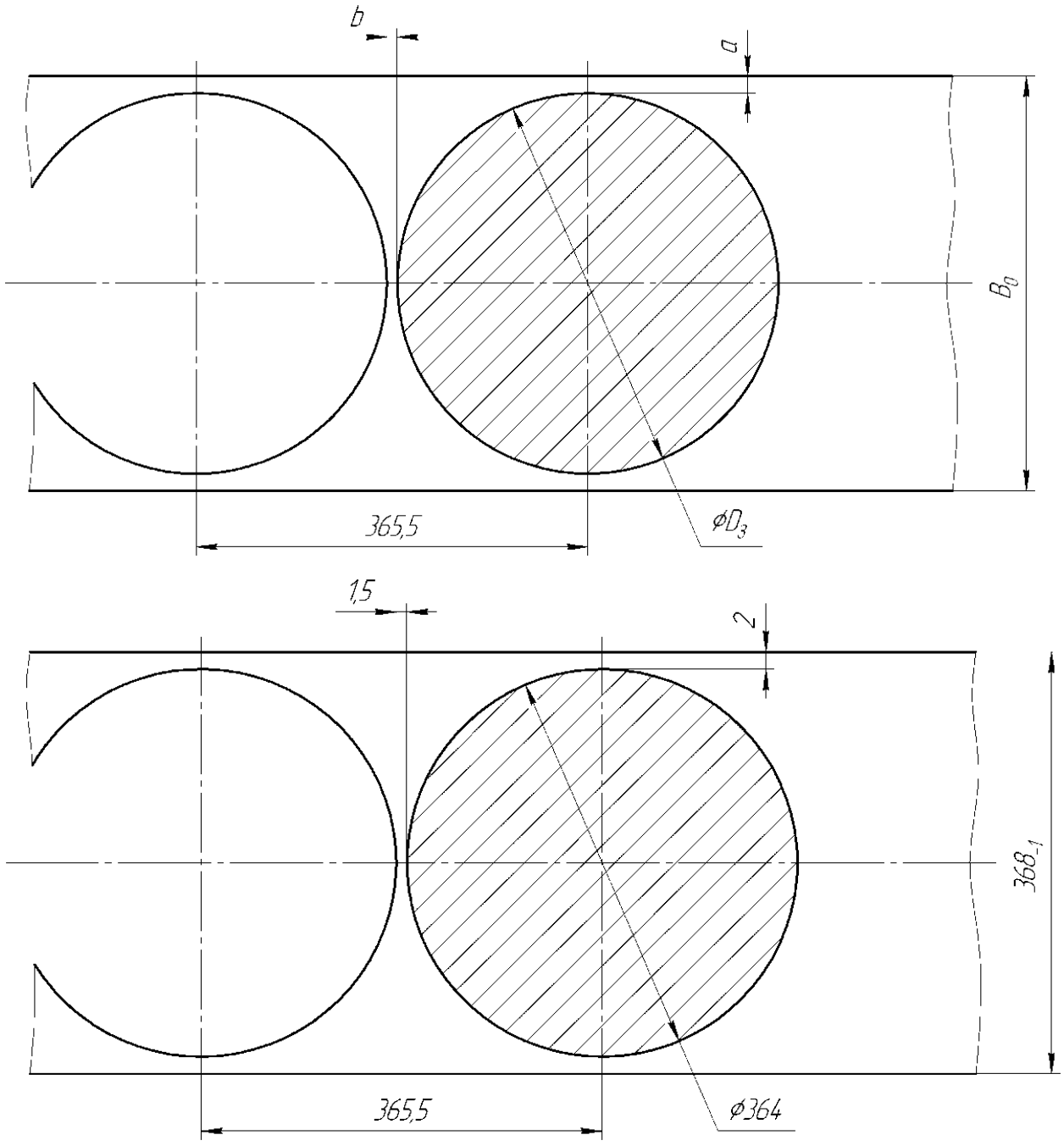


Рисунок 2.4 - Схема розкрою

$B_0 = D_3 + 2a$ [14]

$T = D_3 + b$ [14]

$B_0 = 364 + 2 \cdot 2 = 368$ мм

$T = 364 + 1{,}5 = 365{,}5$ мм

2.1.4 Розрахунок технологічного процесу

Витяжку проектуємо з притиском на першому переході, тому що притиск забезпечує кращу якість зрізу, а також запобігання утворенню гофр при витяжці.

Так як H / D < 1, отже витяжна операція буде одна, а так як радіуси закруглень деталі r < (4-5) s , то будуть введені операції калібрування для зменшення радіусів закруглення без зміни габаритів напівфабрикату.

Допустимі коефіцієнти витяжки (залежно від відносної товщини $(S/D) \cdot 100\%$та відношення $d_ф / d_1$): [14]

$m_{1\,min} = 0{,}57$

Розміри напівфабрикату на 1й витяжці:

$d_{1\,min} = 208$ мм

$h_1 = (0{,}5 + 0{,}62)\, d_1 = 106$мм

Дійсний коефіцієнт 1й витяжки:

$m_1 = d_1 / D_3 = 273 / 364 = 0{,}75$

Радіуси закруглень матриці та пуансону при витяжці:

$r_{м\,min} = 9$ мм

$r_{п\,min} = 5{,}5$ мм

Для отримання необхідних радіусів закруглень деталі вводимо додаткову операцію калібрування, яка дозволяє провести зменшення радіусів закруглень пуансона і матриці в 2… 5 разів у порівнянні з попередньою операцією. Отже отримуємо наступні радіуси матриць та пуансонів:

- на витяжній операції

$r_{м\ вит}$ =6 мм

$r_{п\ вит}$ = 6 ммі $r_{п\ вит}$ =10 мм

- на калібрувальній операції

$r_{м\ кал}$ =2 мм

$r_{п\ кал}$ = 2 ммта $r_{п\ кал}$ =10 мм

Розрахунок зусиль штампування**:**

1) Вирубування:

$$P_1` = Ls\sigma_{ср} = \pi ds\sigma_{ср} \quad (2.4)$$

де L - периметр пробивається контуру, мм;

d – діаметр контуру, що пробивається, мм;

s – товщина матеріалу, мм;

$\sigma_{ср}$ - опір зрізу матеріалу, МПа.

$P_1` = 3{,}1416 \cdot 364 \cdot 1 \cdot 280 = 320{,}2$ кН

Зусилля зняття стрічки з пуансону:

$$P_{сн} = k_{сн} \cdot P_1` \quad (2.5)$$

де $k_{сн}$ - коефіцієнт зняття з пуансона.

$P_{сн} = 0{,}12 \cdot 320{,}2 = 38{,}4$ кН

Сумарне зусилля пробивання:

$$P_1 = 320{,}2 + 38{,}4 = 358{,}6 \text{ кН}$$

2) Витяжка:

$$P_2 = \pi d_1 s_y k_ф \quad (2.6)$$

де d_1 - діаметр напівфабрикату на 1-му переході , мм;

s – товщина матеріалу, мм;

$\sigma_в$ - опір зрізу матеріалу, МПа ;

$k_ф$ – коефіцієнт фланця.

$P_2 = 3{,}1416 \cdot 273 \cdot 1 \cdot 363 \cdot 0{,}45 = 140{,}1$ кН

3) Калібрування:

$$P_3 = 0{,}1 \cdot P_{вит} \quad (2.7)$$

$P_{вит}$ – зусилля витяжки на попередній операції.

$$P_3 = 0{,}1 \cdot 140{,}1 = 14 \text{ кН}$$

4) Обрізка (∅279):

$$P_4` = Ls\sigma_{ср} = \pi ds\sigma_{ср} \quad (2.8)$$

де L - периметр пробивається контуру, мм;

d – діаметр контуру, що пробивається, мм;

s – товщина матеріалу, мм;

$\sigma_{ср}$ - опір зрізу матеріалу, МПа.

$P_4` = 3{,}1416 \cdot 279 \cdot 1 \cdot 280 = 245{,}4$ кН

Зусилля зняття стрічки з пуансону:

$$P_{сн} = k_{сн} \cdot P_4` \quad (2.9)$$

де $k_{сн}$ - коефіцієнт зняття з пуансона.

$P_{сн} = 0,12 \cdot 245,4 = 29,5$ кН

Сумарне зусилля пробивання:

$$P_4 = 245,4 + 29,5 = 275$$

5) Пробивання (∅182).

$$P_5 = Ls\sigma_{ср} = \pi ds\sigma_{ср} \quad (2.10)$$

де L - периметр пробивається контуру, мм;

d – діаметр контуру, що пробивається, мм;

s – товщина матеріалу, мм;

$\sigma_{ср}$ - опір зрізу матеріалу, МПа.

$P_5 = 3,1416 \cdot 182 \cdot 1 \cdot 280 = 160,1$ кН

Зусилля зняття стрічки з пуансону:

$$P_{сн} = k_{сн} \cdot P_5`$$

де $k_{сн}$ - коефіцієнт зняття з пуансона.

$P_{сн} = 0,12 \cdot 160,1 = 19,2$ кН

Сумарне зусилля пробивання:

$$P_5 = 160,1 + 19,2 = 179,3 \text{ кН}$$

6) Притиск на витяжці.

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot [D_3^2 - (d_1 + 2r_м)^2] \cdot q \quad (2.11)$$

де D_3 - Діаметр заготовки , мм;

d_1 – діаметр напівфабрикату на 1-му переході , мм;

$r_м$ – радіус закруглення матриці, мм;

q - тиск притиску, МПа ;

$Q = \frac{3.1416}{4} \cdot [364^2 - (273 + 2 \cdot 9)^2] \cdot 0,23 = 8640$ кг= 86,4 кН

Зусилля для вибору обладнання розраховується як сума зусиль витяжки та притиску:

$$P_\Sigma = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + Q \quad (2.12)$$

$P_\Sigma = 358,6 + 140,1 + 14 + 275 + 179,3 + 86,4 = 1053,4$ кН

$P_\Sigma = 1053$ кН = 105 т

Визначаємо роботу деформації:

$$A = 0,7 \cdot P_\Sigma \cdot H_{max} \quad (2.13)$$

$A = 0,7 \cdot 1053 \cdot 105 = 77400$ Дж

2.1.5 Вибір пресового обладнання

Дані для вибору:

$P > 966,2$ кН

$h_{min} > 2,1 \cdot h = 2,1 \cdot 50 = 105$ мм

Вибираємо Прес-автомат АА6032

Параметри преса:

- номінальне зусилля: $P_н = 1600$ кН;

- хід повзуна: h = 600-1000 мм;
- закрита висота преса: H_{MAX} =1200 мм.

Для вибору технологічного обладнання необхідно враховувати такі аспекти:

1. Зусилля, необхідне для виконання операції або комплексу операцій, повинно бути трохи меншим за максимальне зусилля, яке може забезпечити обладнання.

2. Потужність обладнання має бути достатньою для забезпечення роботи на обраному штампі або операції.

3. Габарити столу преса та висота закритого штампа повинні дозволяти зручне встановлення й надійне закріплення оснащення.

4. Довжина ходу повзуна повинна відповідати вимогам технологічного процесу.

5. Обладнання повинно відповідати нормам безпеки й забезпечувати зручність експлуатації для обслуговуючого персоналу.

2.1.6 Розрахунок трудомісткості виготовлення деталі

Визначаємо штучний час для деталі «Екран».

Вихідні дані:

Матеріал - стрічка сталева В 368 мм= S = 1 мм.

Крок просування стрічки – Т = 365,5 мм.

Кількість деталей зі стрічки:$n = \frac{l}{t}$,

де l – Довжина стрічки, t – крок подачі.

$l = \frac{Q}{q}$, (*м*); $Q -$ *вагастрычки*; *вага* 1 *погон. метра стрічки в* ⇄ *кг.*

$$l = \frac{230}{0{,}368 \cdot 0{,}001 \cdot 7{,}82} = 83{,}400 \text{ } м$$

$$n = \frac{83400}{365{,}5} = 228 \text{ } шт$$

Устаткування - Прес кривошипний АА 6032

$P_н$ = 1600 кН, n = 100 хв $^{-1}$

Таблиця 2.1 - Трудомісткість виготовлення деталі " Екран "

Прийомів №	Прийоми роботи	№ карти	Позиція, індекс	Основний час у хв.	Допоміжний час у хв.	
					Перекрито.	Неперекр.
1	Взяти рулон і встановити в пристрій і заправити кінець стрічки в автоподачу	34	1в	-	-	4 , 2
2	Увімкнути хід преса	1	1а	-	-	0,010
3	Штампувати	2	23г	0,0 45	-	-
4	Пересування стрічки на крок автоподачею	31	4г	-	-	0,008
5	Зупинити прес	1	1б	-	-	0,010

$$T_{ШТ} = \left[\frac{(t_0+t_3)n+t_1+t_2}{n}\right] \cdot K \qquad (2.14)$$

$$T_{ШТ} = \left[\frac{(0{,}045+0{,}008)\cdot 228+4{,}2+0{,}010+0{,}010}{228}\right] \cdot 1{,}13 = 0{,}081 \ мин$$

$T_{шт}$ = 1 , 3 5 · 10 $^{-3}$ нормо-години

2.2. Конструювання та розрахунок штампу

На практиці часто зустрічаються двох, трьох і багато операційних штампів, що поєднують операції: вирубки з витяжкою, витяжки з обрізанням, пробивання

отворів з відбортуванням, відрізки з гнучкою, вирізки-витяжки з пробивкою отвору.

Для детального розрахунку було обрано штамп для вирубки-пробивки. На цю операцію заготівля подається після витяжної операції. При русі повзуна вниз заготівля центрується і фіксується притиском 4. Після цього пуансон 6 виконує операцію пробивання, в результаті якої відхід провалюється через матрицю 8 і склізу 11 видаляється в тару з відходами. При зворотному ході повзуна 6 притиск відпускає напівфабрикат і він виштовхується на дзеркало штампу. А далі напівфабрикат переміщується перекладачем на таку позицію.

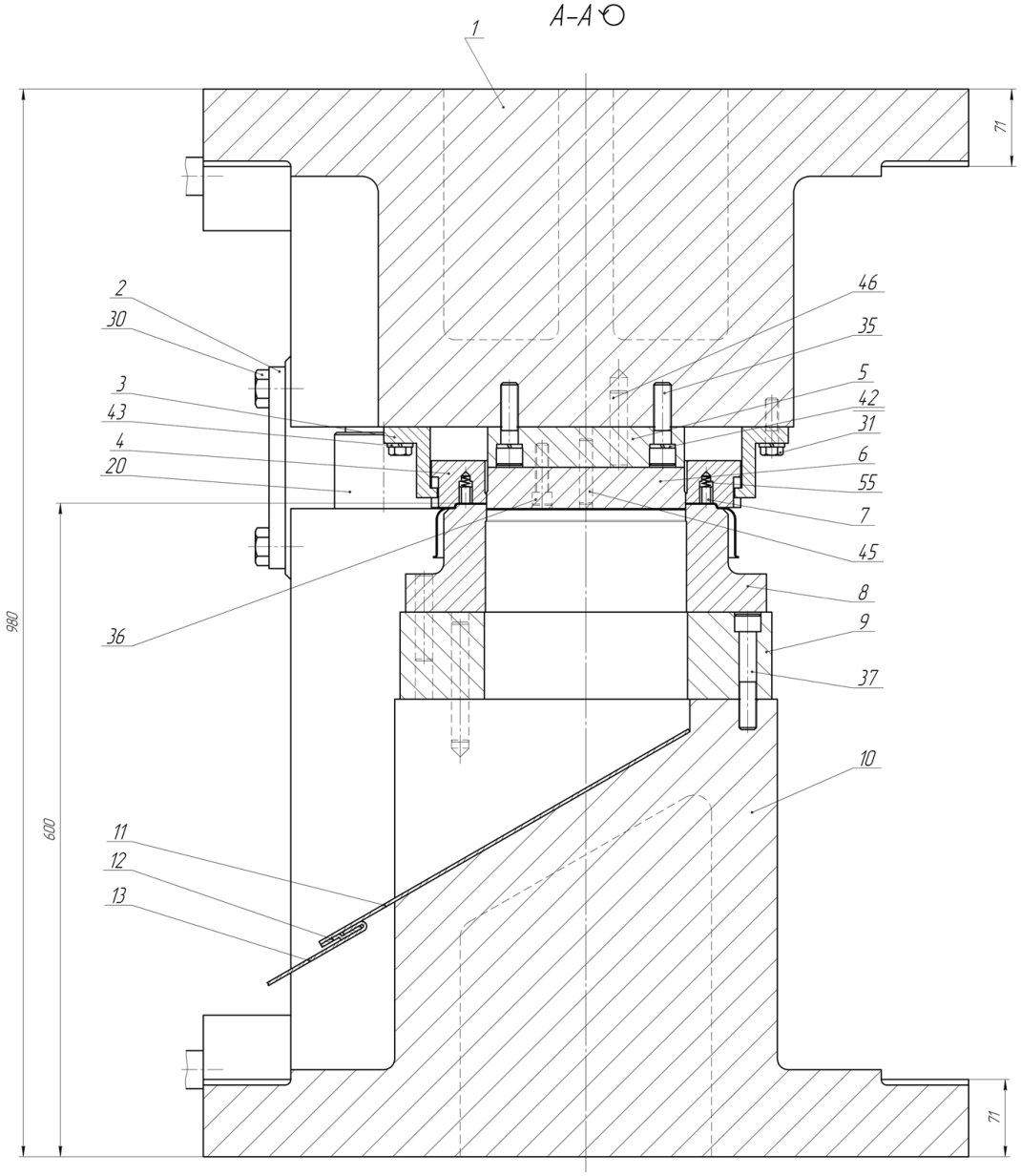


Рисунок 2.5 - Штамп для вирубки-пробивки

2.2.1 Конструювання та розрахунок на міцність робочих деталей штампу

Матриця та пуансон визначають працездатність, надійність та довговічність штампу. Їх розрахунок та конструювання – найважливіший етап розробки документації штампу.

Розрахунок пробивного пуансону

Перевіримо вирубний пуансон на стиск:

$$\sigma_{СЖ} = \frac{P}{f}, \tag{2.14}$$

де P – технологічне зусилля, яке сприймається пуансоном;

f – площа робочої частини.

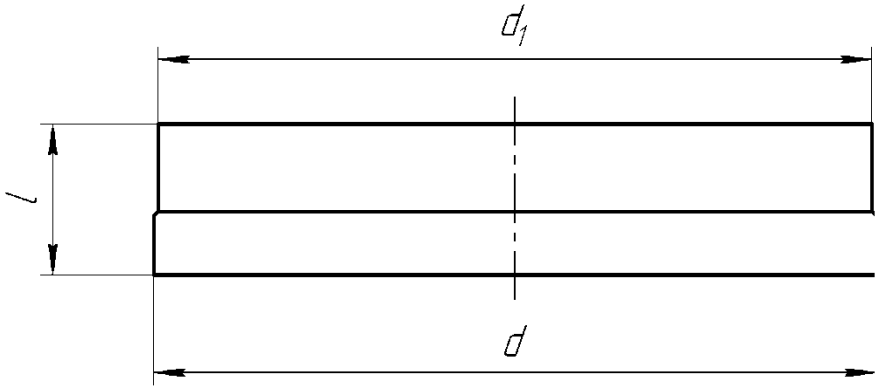


Рисунок 2.6 - Пуансон пробивний

$$f = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\sigma_{СЖ} = \frac{P \cdot 4}{\pi d^2}$$

$$\sigma_{СЖ} = \frac{17900 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 182^2} = 0{,}615\ {}^{кг}/_{мм^2} = 6{,}15\ МПа$$

Допустиме $[\sigma_{СЖ}] = 160\ {}^{кг}/_{мм^2} = 1600\ Мпа$

Умови міцності:$\sigma_{сж} < [\sigma_{СЖ}]$

Перевіримо витяжний пуансон на зминання:

$$\sigma_{CM} = \frac{P}{F}, \tag{2.15}$$

де Р – технологічне зусилля, яке сприймається пуансоном;

F – площа опорної частини.

$$F = \frac{\pi {d_1}^2}{4}$$

$$\sigma_{CM} = \frac{P \cdot 4}{\pi {d_1}^2}$$

$\sigma_{CM} = \frac{17900 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 182^2} = 0{,}615\ {}^{кг}/_{мм^2} = 6{,}15\ МПа$

Допустиме$[\sigma_{CM}] = 160\ {}^{кг}/_{мм^2} = 1600\ МПа$

Розрахуємо вільну довжину пуансона на поздовжній вигин:

$$l_{MAX} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{n_д \cdot P \cdot \mu^2}} \tag{2.16}$$

$l_{MAX} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 0{,}7 \cdot 10^4 \cdot 0{,}05 \cdot 182^4}{3 \cdot 17930 \cdot 0{,}7^2}} = 12000мм$ $(l_{MAX} > l$

Розрахунок пробивної матриці

Форма матриці визначається формою та розмірами штампованої деталі.

Відповідно до [8] габаритні розміри матриці для вирубки контуру ∅182 мм, визначимо так:

$$A_{MIN} = B_{MIN} = d + (2{,}5 \div 4{,}0)H_M \quad (2.17)$$

де d - діаметр деталі, що штампується, мм;

А та В – розміри матриці, мм;

H_M- Товщина матриця, мм.

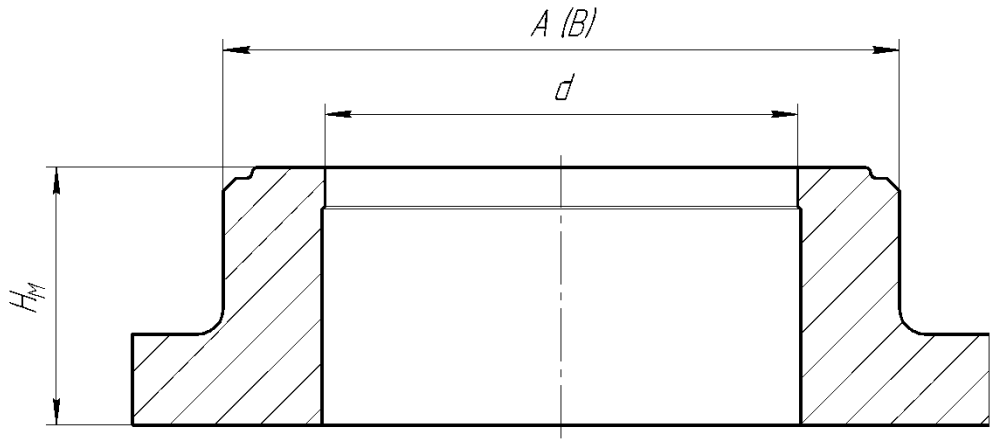


Рисунок 2.7 - Матриця пробивна

Товщину матриці пропонує визначити за такою формулою:

$$H_M = S + K_M\sqrt{1{,}57D_{ЗАГ}} + 7 \quad (2.18)$$

$$H_M = 1 + 1 \cdot \sqrt{1{,}57 \cdot 364} + 7 = 31{,}9 = 32\ мм$$

Товщину матриці можна визначити через зусилля $P_Д$,кН:

$$H_M = \sqrt[3]{100P_Д} \quad (2.19)$$

$$H_M = \sqrt[3]{100 \cdot 179} = 26\ мм$$

Товщину матриці округляємо до найближчого більшого значення та приймаємо: $H_M = 32\ мм$.

Таким чином, габарити матриці:

$$A_{MIN} = B_{MIN} = 182 + 2.5 \cdot 32 = 260\ мм$$

Товщину матриці та товщину стінки матриці можна перевірити на міцність спеціальним розрахунком. Стінки прямокутної матриці відчувають розширювальне зусилля у вигляді нормального тиску P_P, що виникає від матеріалу, що деформується в процесі різання. До цього тиску додається тиск торців $p_{ТОР.М.}$деталі або відходу, що визначається вихідною заготовкою. Стінка матриці в момент різання зазнає максимального сумарного тиску:

$$P_{ОБЩ} = P_P + p_{ТОР.М.}, \tag{2.20}$$

де$P_P = \frac{0{,}3P_Д}{\pi \cdot D \cdot h_П} = \frac{0{,}3P_Д}{\pi \cdot D \cdot 0{,}4S} = \frac{0{,}3 \cdot 17900}{3{,}14 \cdot 182 \cdot 0{,}4 \cdot 1} = 21\ {}^{кг}/_{мм^2} = 210 МПа$

$p_{ТОР.М.} = 6{,}3\ {}^{кг}/_{мм^2}$згідно з [8].

Визначимо напруження на контактній поверхні в осьовому напрямку:

$$\sigma_Z = \frac{P_Д}{\pi \cdot \left[\left(\frac{D+S}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2\right]} \tag{2.21}$$

$$\sigma_Z = \frac{17900}{3{,}14 \cdot \left[\left(\frac{182+1}{2}\right)^2 - \left(\frac{182}{2}\right)^2\right]} = 55{,}8\ {}^{кг}/_{мм^2} = 558\ МПа$$

$\sigma_Z < [\sigma_{СЖ}]; [\sigma_{СЖ}] = 160\ {}^{кг}/_{мм^2} = 1600\ МПа$

Визначимо нормальне напруження в радіальному напрямку:

$$\sigma_r = -P_{ОБЩ} = -(21 + 6{,}3) = -27.3\ {}^{кг}/_{мм^2} = -273\ МПа$$

$\sigma_r < [\sigma_{СЖ}]; [\sigma_{СЖ}] = 160\ {}^{кг}/_{мм^2} = 1600\ МПа$

Визначимо нормальне напруження у тангенціальному напрямку:

$$\sigma_\tau = P_{ОБЩ} \cdot \frac{\left(\frac{A_M}{2}\right)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\left(\frac{A_M}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_\tau = 27.3 \cdot \frac{\left(\frac{260}{2}\right)^2 + \left(\frac{182}{2}\right)^2}{\left(\frac{260}{2}\right)^2 - \left(\frac{182}{2}\right)^2} = 487441/8619 = 56{,}6\ {}^{кг}/_{мм^2} = 566\ МПа$$

$$\sigma_\tau > [\sigma_р];[\sigma_р] = 50\ {}^{кг}/_{мм^2} = 500\ МПа$$

Так як тангенціальна напруга перевищує допустиму, необхідно збільшити зовнішній габаритний розмір матриці. Для цього робимо її ступінчастою із зовнішнім діаметром внизу 330мм.

2.2.3 Розрахунок плити на міцність

Товщину верхньої та нижньої плит слід визначати відповідним розрахунком на міцність та жорсткість. Однак через велику кількість факторів, що впливають на умови навантаження плит, точний розрахунок виконати практично неможливо. Тому на практиці слід обмежуватись заданими товщинами плит стандартизованих блоків з їх перевіркою на міцність. Припустимо, що повне навантаження сприймає лише нижня плита і характер її навантаження однаковий у всіх її перерізах, перпендикулярних до її площини. Тоді необхідний момент опору W_D перерізу плити в напрямку розміру $A_{ПЛ}$ отвору в підштамповій плиті преса можна орієнтовно визначити з виразу:

$$W_D = 0{,}25 \cdot \frac{P \cdot A_{ПЛ}}{[\sigma_И]}, \qquad (2.22)$$

де P - повне розрахункове зусилля (повне навантаження), що діє на нижню плиту,

$[\sigma_И]$ - Допустима напруга на вигин матеріалу нижньої плити.

$[\sigma_И] = 1250\ {}^{кг}/_{см^2}$ для сталі 35Л

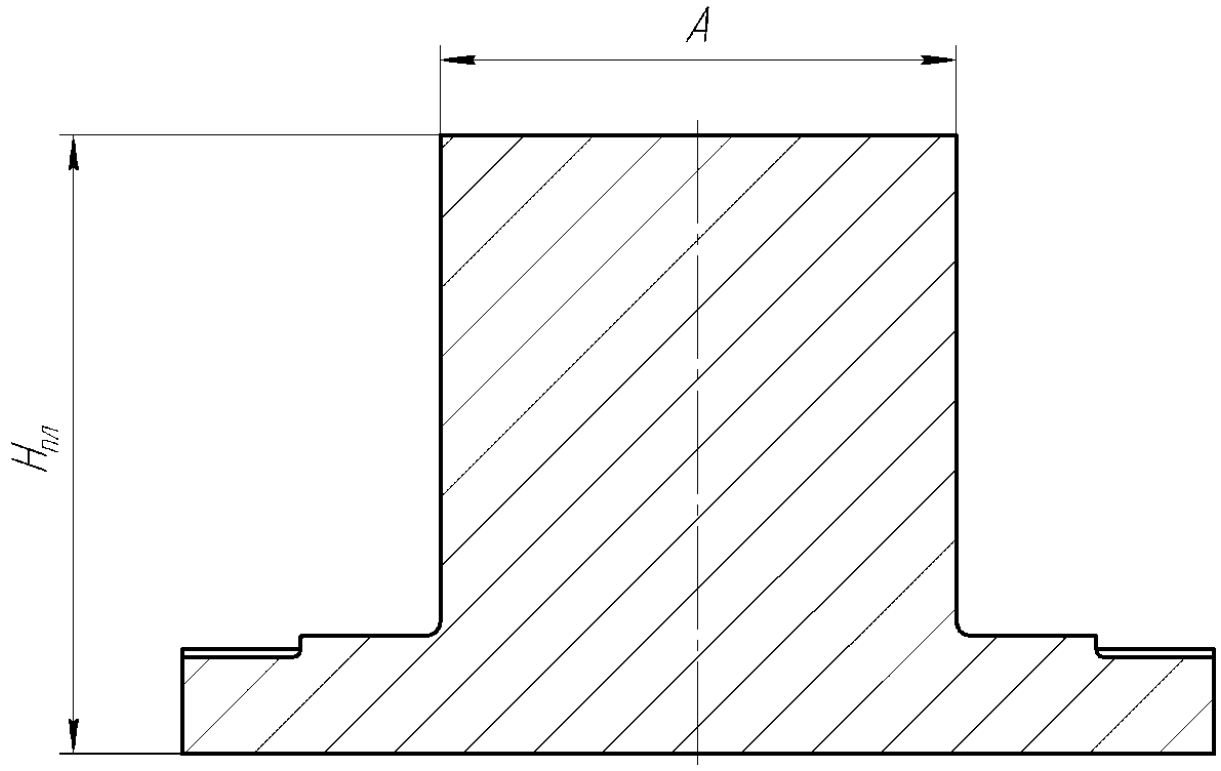


Рисунок 2.8 - Плита штампу

За знайденим значенням моменту опору визначають необхідну товщину плити:

$$H_{ПЛ} = 2{,}5\sqrt{\frac{W_D}{A}}, \tag{2.23}$$

де А – мінімальний розмір плити (А=350 мм)

$$W_D = 0{,}25 \cdot \frac{P \cdot A_{ПЛ}}{[\sigma_И]} = 0{,}25 \cdot \frac{17900 \cdot 34}{1250} = 486\ см^3$$

$$H_{ПЛ} = 2{,}5\sqrt{\frac{W_D}{A}} = 2{,}5\sqrt{\frac{486}{35}} = 11{,}8\ см = 118мм$$

Отже, мінімальна товщина нижньої плити – 120 мм.

2.2.4 Розрахунок виконавчих розмірів інструменту

Пробивка ∅182

$$D_П = (D_H + 0{,}8\Delta)_{-\delta_П}$$
$$D_M = (D_H + 0{,}8\Delta + z)^{+\delta_M} \quad (2.24)$$

де $D_M, D_П$- Виконавчі розміри матриці та пуансону при вирубці;

D_H- номінальний розмір деталі, що вирубується ($D_м$ = 182 мм);

Δ - Допуск деталі;

$\delta_M, \delta_П$- допуски на виготовлення матриці та пуансону (по H 7 та h 6);

z – номінальний проміжок.

Маємо:

$$D_П = (D_H + 0{,}8\Delta)_{-\delta_П} = (182 + 0{,}8 \cdot 1{,}15)_{-0{,}029} = 182{,}9_{-0{,}029}$$
$$D_M = (D_H + 0{,}8\Delta + z)^{+\delta_M} = (182 + 0{,}8 \cdot 1{,}15 + 0{,}1)^{+0{,}046} = 183{,}9^{+0{,}046}$$

3. Дослідження шляхів підвищення стійкості штампувального обладнання за допомогою методів математичного моделювання

Штампи є ключовими елементами штампувального оснащення, і їх працездатність безпосередньо залежить від стану інструментів Математичне моделювання є потужним інструментом для аналізу та оптимізації процесів штампування. Використання сучасних методів, таких як метод скінченних елементів, моделі зносу та аналіз температурного впливу, дозволяє ефективно вирішувати завдання підвищення стійкості інструментів і якості кінцевої продукції. Застосування таких підходів сприяє створенню економічно вигідних і екологічно безпечних виробничих процесів, розподілу температури, а також впливу різних факторів на знос.

Математичне моделювання є важливим інструментом для аналізу стійкості штампів при виконанні розділових операцій, таких як вирубка, прокатка або різання. Основною метою такого моделювання є вивчення впливу різних параметрів на довговічність і ефективність роботи штампів, а також прогнозування їх поведінки під час експлуатації.

Основні етапи математичного моделювання стійкості штампів включають:

1. **Моделювання контактних напружень**: Для аналізу дії сил, що виникають під час розділових операцій, необхідно враховувати контакт між пуансоном і матрицею. Математичні моделі, як правило, використовують рівняння рівноваги та контактних умов для визначення розподілу напружень і деформацій на поверхні штампу.
2. **Аналіз втоми та тріщиностійкості**: Застосовують моделі для оцінки процесу зародження та розвитку тріщин, що можуть виникати через циклічне навантаження, втомні навантаження або локальні дефекти в матеріалі штампу. Для цього використовують критерії, такі як критерій поширення тріщин (наприклад, К-лінійний або інші критерії втоми).

3. **Термомеханічні ефекти**: Моделювання враховує також термічні навантаження, що виникають в результаті тривалої роботи штампу, особливо в процесах, що супроводжуються високими температурами, як у гарячому штампуванні. Це включає вплив теплопереносу, температурного поля та термічних деформацій на стійкість штампу.
4. **Числові методи**: Для розв'язання таких задач часто використовують числові методи, такі як метод скінченних елементів (МКЕ), який дозволяє моделювати складні геометрії та навантаження. Моделювання через МКЕ дозволяє отримати детальну картину напружень, температурних полів і поведінки матеріалу штампу в різних умовах.
5. **Оптимізація параметрів**: Математичне моделювання дозволяє оптимізувати параметри штампів, такі як форма, матеріал і розміри, з урахуванням вимог до їх стійкості та довговічності. Це може включати варіації в товщині покриттів, розміри зазорів та матеріальні властивості.

Математичне моделювання стійкості штампів допомагає не лише оптимізувати їх проектування, а й прогнозувати зношування, терміни служби та можливі проблеми в роботі штампу, зменшуючи потребу в дорогих експериментальних дослідженнях.

Для моделювання процесу зношення інструменту для вирубних операцій використовувалась програма «DEFORM-2D».

Моделі зносу можуть бути задані для кожної пари об'єктів, які перебувають у контакті під час процесу. Ці моделі визначаються на основі даних, що характеризують взаємодію між об'єктами. Розрахунок норм зносу виконується для основного об'єкта, який має бути представлений сіткою кінцевих елементів.

У постпроцесорі користувач може проаналізувати сумарну (інтегральну) глибину зносу на певному етапі процесу, а також визначити приріст зносу за часовий інтервал останнього кроку. Крім того, доступна інформація про швидкості ковзання, контактний тиск і температуру на поверхні контактної взаємодії. Це дає змогу, маючи модель з уже розрахованими даними деформації,

оцінювати різні моделі зносу без необхідності повторного проведення розрахунків.

3.1 Модель зношування штампувального інструменту

У процесі штампування математичні моделі виконують такі функції:

1. **Аналіз розподілу навантажень**
   - За допомогою методів скінченних елементів (МСЕ) можна розрахувати розподіл напружень і деформацій у металі та в елементах штампувального інструмента. Це допомагає визначити потенційно проблемні зони, де можливий ризик руйнування чи пластичної деформації.
2. **Оцінка температурного режиму**
   - Під час гарячого штампування температура матеріалу відіграє критичну роль. Математичні моделі дозволяють прогнозувати розподіл температури у зоні контакту між матеріалом та штампом, враховуючи теплообмін і теплопровідність. Це важливо для запобігання термічному пошкодженню інструментів.
3. **Моделювання зносу інструментів**
   - Знос є одним із основних чинників, які обмежують довговічність штампів. Використовуючи моделі зносу, наприклад, моделі на основі закону Арчарда, можна оцінити швидкість зносу в залежності від навантажень, тертя та температурних умов.
4. **Врахування впливу матеріалів і параметрів процесу**
   - Вплив фізико-механічних властивостей матеріалів (наприклад, твердість, пластичність) і геометрії штампів також моделюється. Це дозволяє оптимізувати вибір матеріалів і дизайн інструмента для підвищення його стійкості.

При моделюванні процесу вирубки в програмі «DEFORM-2D» обрана модель зносу інструмента «Archard».

Ця емпірична модель розрахунку швидкості абразивного зносу поверхонь тертя, що ґрунтується на шорсткості поверхонь, була розроблена британським інженером Джоном Ф. Арчардом у 1950-х роках двадцятого століття. Було отримано таке рівняння:

$$Q = \frac{K \times W \times L}{H} \tag{3.1}$$

де Q – швидкість зносу;

K – постійний коефіцієнт зносу;

W – загальне нормальне навантаження;

L – шлях тертя поверхонь;

H – твердість більш м’якої з двох поверхонь.

Згідно з цією моделлю, об’єм матеріалу, що видаляється через абразивний знос, визначає силу тертя. Модель Арчарда здебільшого використовується для прогнозування швидкості зносу інструмента з часом. Вона враховує такі фактори, як міцність поверхонь різального інструмента, коефіцієнт зносу, швидкість взаємодії робочих поверхонь, властивості матеріалу інструмента та механічні навантаження.

Однак слід зазначити, що модель Арчарда не підходить для процесів із високими швидкостями, таких як металообробка різанням (фрезерування, токарна обробка тощо), оскільки вона не враховує вплив температури. При обробці різанням температура на поверхні інструмента може досягати близько 900°C, що суттєво впливає на коефіцієнт зносу та міцність поверхні. Через це модель Арчарда не забезпечує точного прогнозування зносу інструментів у таких умовах. Натомість вона краще підходить для оцінки зносу в процесах, як-от холодне чи гаряче штампування.

В програмі «DEFORM» модель Арчарда має наступний вигляд:

$$W = \int K \frac{p^a v^b}{H^c} dt, \tag{3.2}$$

де W –зношування инструмента;

p – контактний тиск, МПа;

v – швидкість ковзання, мм/сек;

H – твердість матеріалу інструмента, HRC (при K = 50);

dt – приріст часу;

K – коефіцієнт масштабування;

a, b, c – поправочні коефіцієнти (для сталевого інструмента «a» і «b» дорівнюють 1, а «c» дорівнює 2).

На рисунке 3.1 зображена модель, яка використовується для розрахунку процесу вирубки заготовки товщиною 1 мм

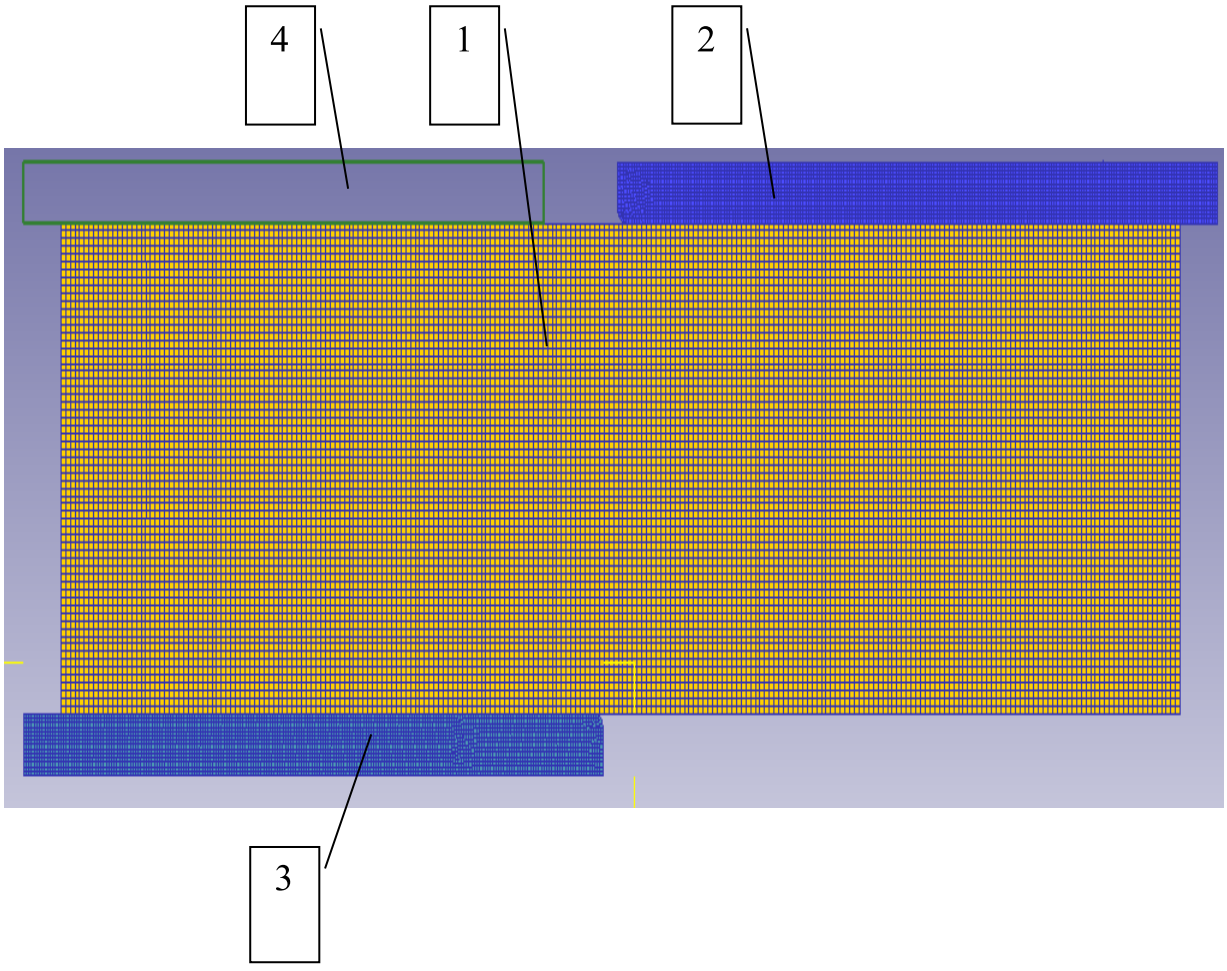


Рисунок 3.1 – Модель процесу вирубки: 1 – заготовка;2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – притиск

Проведено ряд розрахунків для різних варіантів величини технологічного зазору між пуансоном та матрицею. Використані наступні величини зазору: 0,001 мм, 0,02 мм, 0,04 мм, 0,06 мм, 0,08 мм, 0,1 мм.

В таблиці 3.1 наведені вихідні дані для розрахунку

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Кількість кроків розрахунку	100
Переміщення інструмента, мм/крок	0,01
Кількість кінцевих елементів: -для елементів штампу -для заготовки	 3000 15000
Матеріал: -для елементів штампу -для заготовки	 У10А 08Ю
Температура, °С	20
Твердість: -елементів штампа, HRC -заготовки, НВ	 62 248
Швидкість переміщення пуансона мм/с	10

3.2 Результати розрахунків та аналіз отриманих даних

На основі проведених розрахунків було побудовано графік, що показує залежність середньої глибини зносу пуансона і матриці від технологічного зазору між інструментами (рисунок 3.2).

Середню глибину зносу інструмента визначено на основі вимірювання максимального торцевого та бічного зносу матриці та пуансона після завершення

розрахунків у програмі «DEFORM». Далі було розраховано середнє значення зносу для кожного розміру технологічного зазору між інструментами.

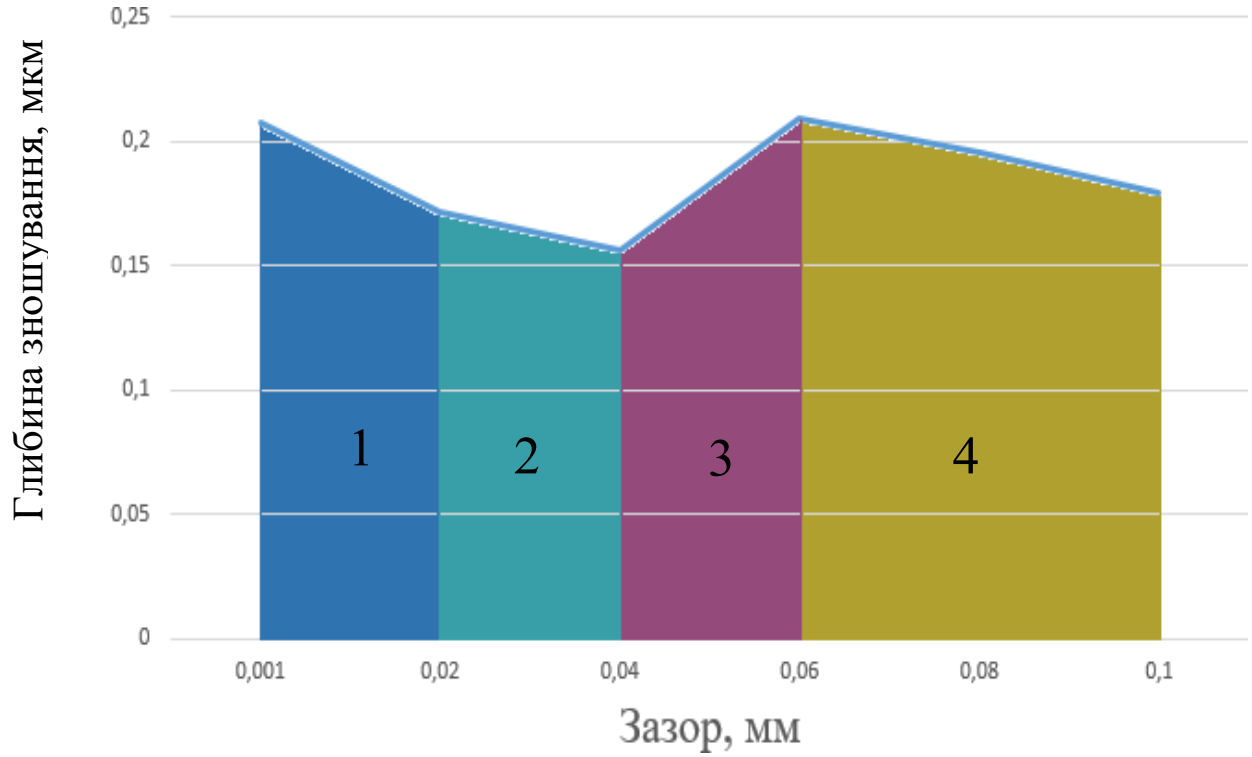


Рисунок 3.2 – Графік відношення середньої глибини зносу пуансона та матриці до величини технологічного зазору між ними

Графік на чотири зони, кожна з яких відображає зміну рівня зносу інструмента в залежності від умов роботи.

- У зоні 1 спостерігається високий рівень зносу пуансона і матриці, що пояснюється значними силами тертя на бокових робочих поверхнях інструмента під час проникнення пуансона в матеріал і проштовхування деталі.
- У зоні 2 знос інструмента помітно знижується, що зумовлено сприятливими умовами для поділу металу в зоні деформації. Це відбувається завдяки співпаданню тріщин, які формуються від ріжучих кромок матриці й пуансона, а також через зниження зусиль на подолання тертя. Загальна робота поділу в цій зоні менша, ніж у зоні 1.

- У зоні 3 знос знову зростає порівняно із зоною 2, оскільки збільшується обсяг роботи різання через виникнення додаткових ефектів, таких як згинання та розтягування матеріалу.
- У зоні 4, де спостерігаються великі технологічні зазори, знос інструмента зменшується через зниження опору поділу металу, що спричиняє зменшення роботи поділу.

Аналіз графіка показує, що найменший знос інструмента спостерігається при зазорах між матрицею і пуансоном у межах 0,02–0,04 мм, що є оптимальними умовами для зменшення інтенсивності зносу робочих поверхонь.

При надто великих зазорах на поверхні деталі зі сторони матриці виникає значний вигин, а на краях зі сторони пуансона з’являються задирки.

При занадто малому зазорі поверхня зрізу деталі замість однієї блискучої смуги має дві: одну у верхній частині, іншу в нижній, зі значними напливами. Уздовж кромки поверхні, зверненої до пуансона, утворюється подовжений рваний задирок із невеликим розширенням у верхній частині.

Також в програмі «DEFORM» побудовані графіки зміни параметру зносу в декількох точках на об’єкті симуляції (рисунок3.3).

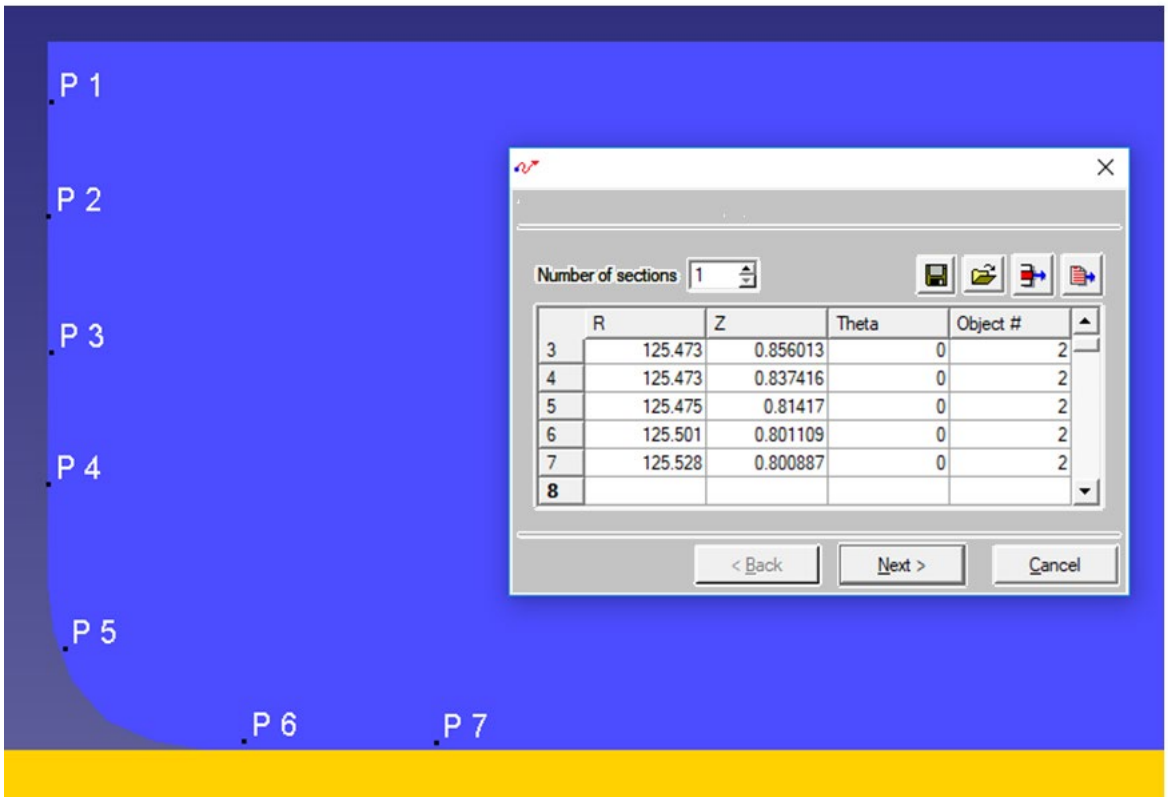


Рисунок 3.3 – Розташування дослідних точок на пуансоні

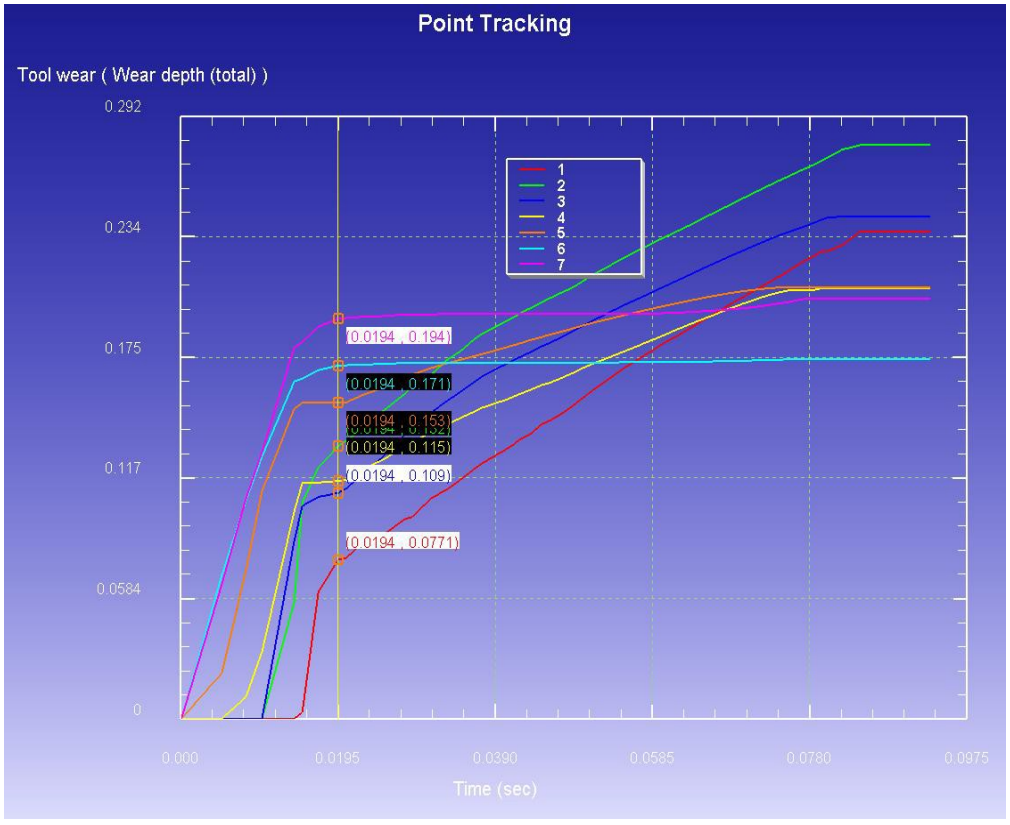
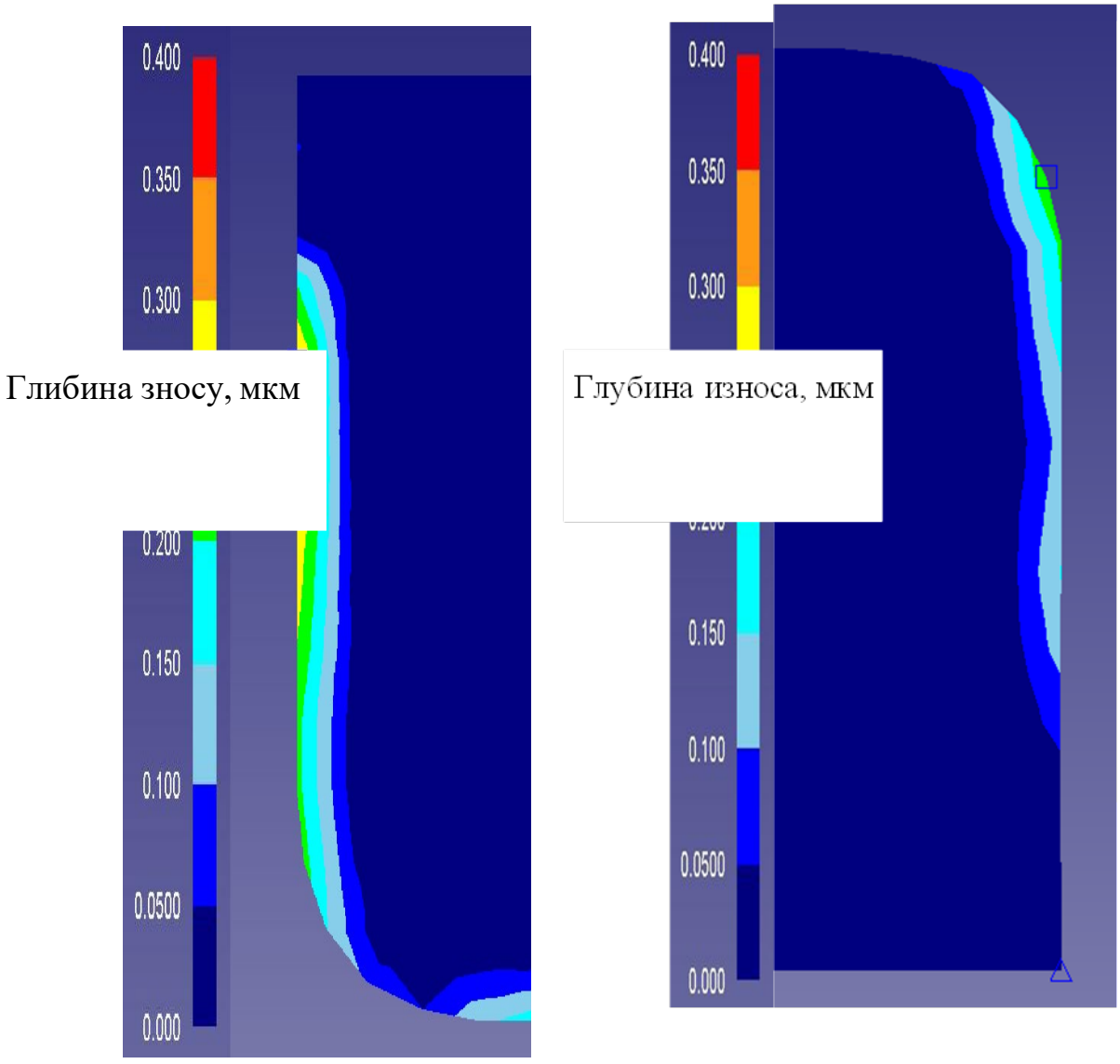


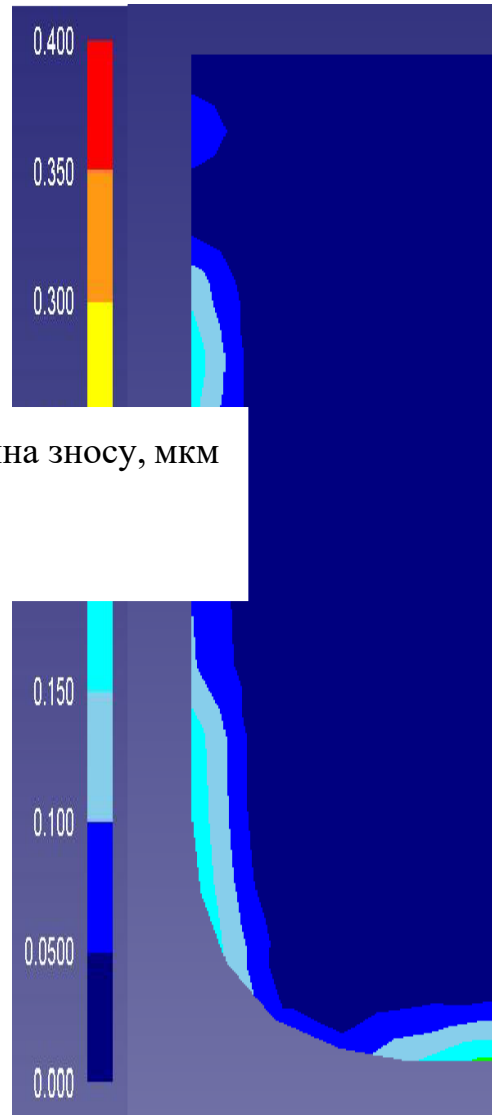
Рисунок 3.4 – Графік зміни глибини зношування в декількох точках на пуансоні

Визначено профілі інструментів із відображеним на них зносом при різних значеннях зазору між матрицею та пуансоном, представлені на рисунках 3.5–3.10.

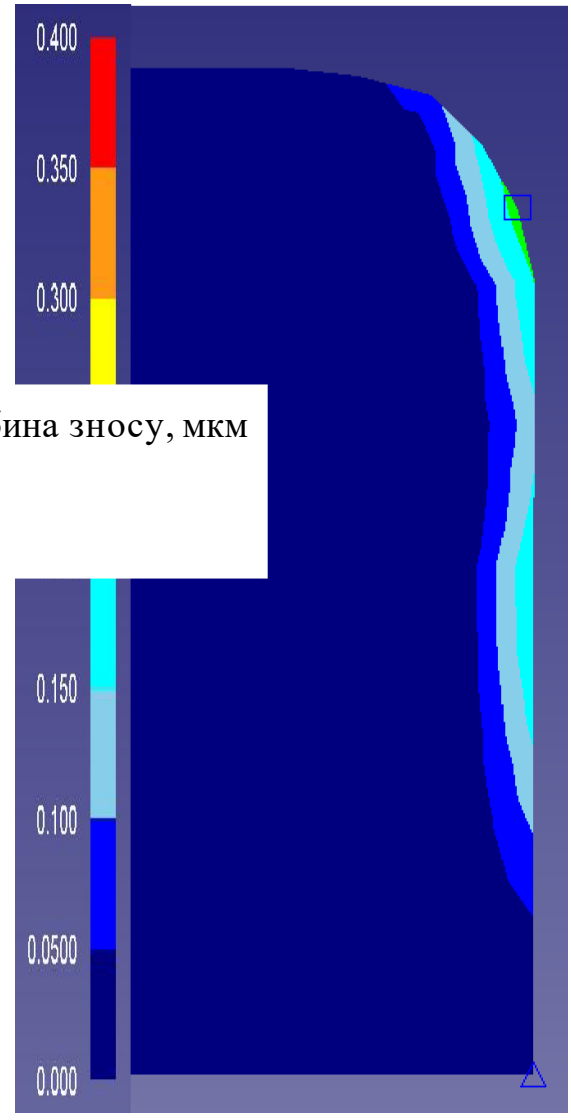


Пуансон Матриця

Рисунок 3.5 – Зношування технологічного інструменту при технологічному зазорі 0,001 мм

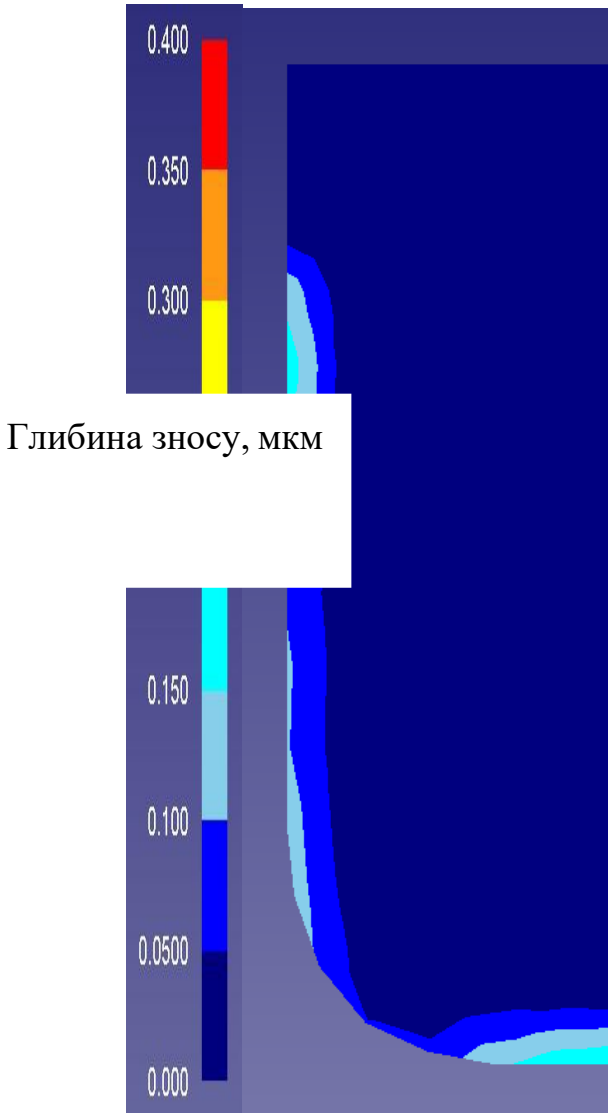


Пуансон

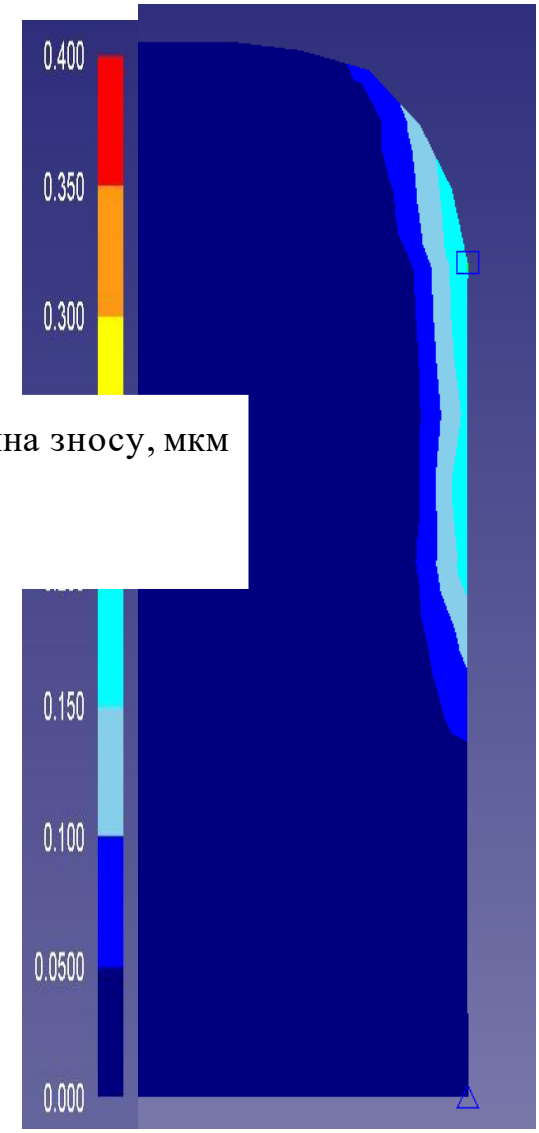


Матриця

Рисунок 3.6 – Зношування технологічного інструменту при технологічному зазорі 0,02 мм

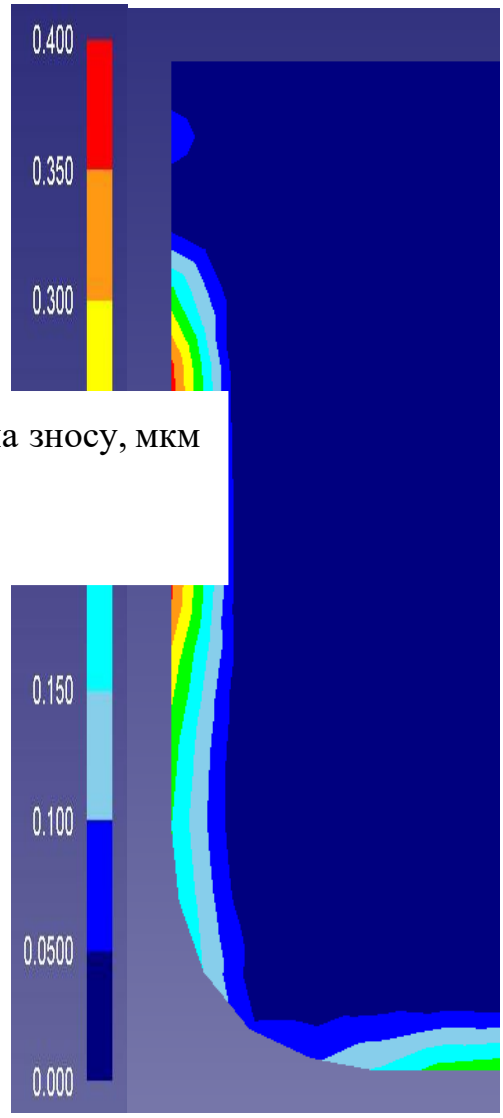


Пуансон

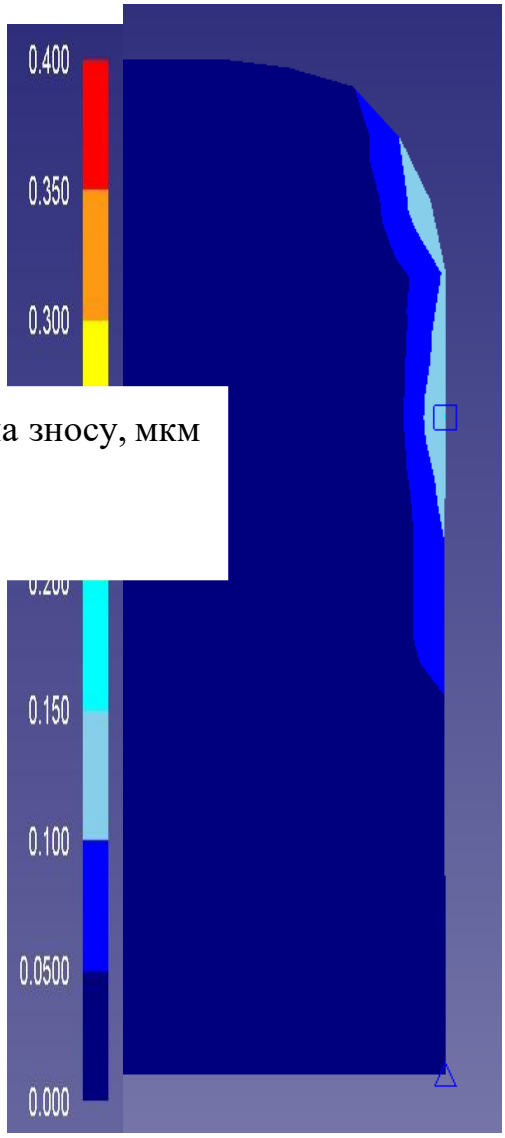


Матриця

Рисунок 3.7 – Зношування технологічного інструменту при технологічному зазорі 0,04мм

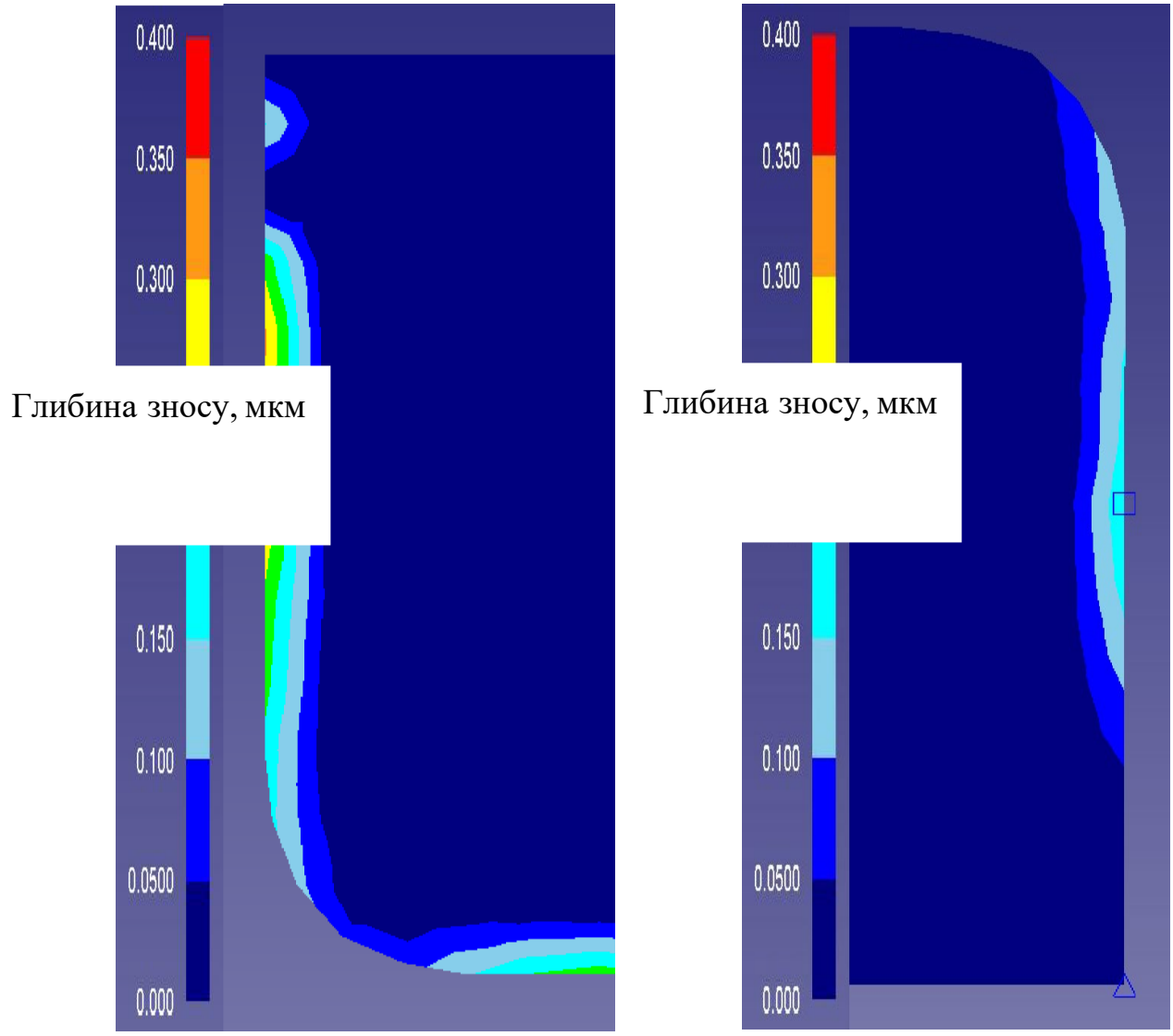


Пуансон



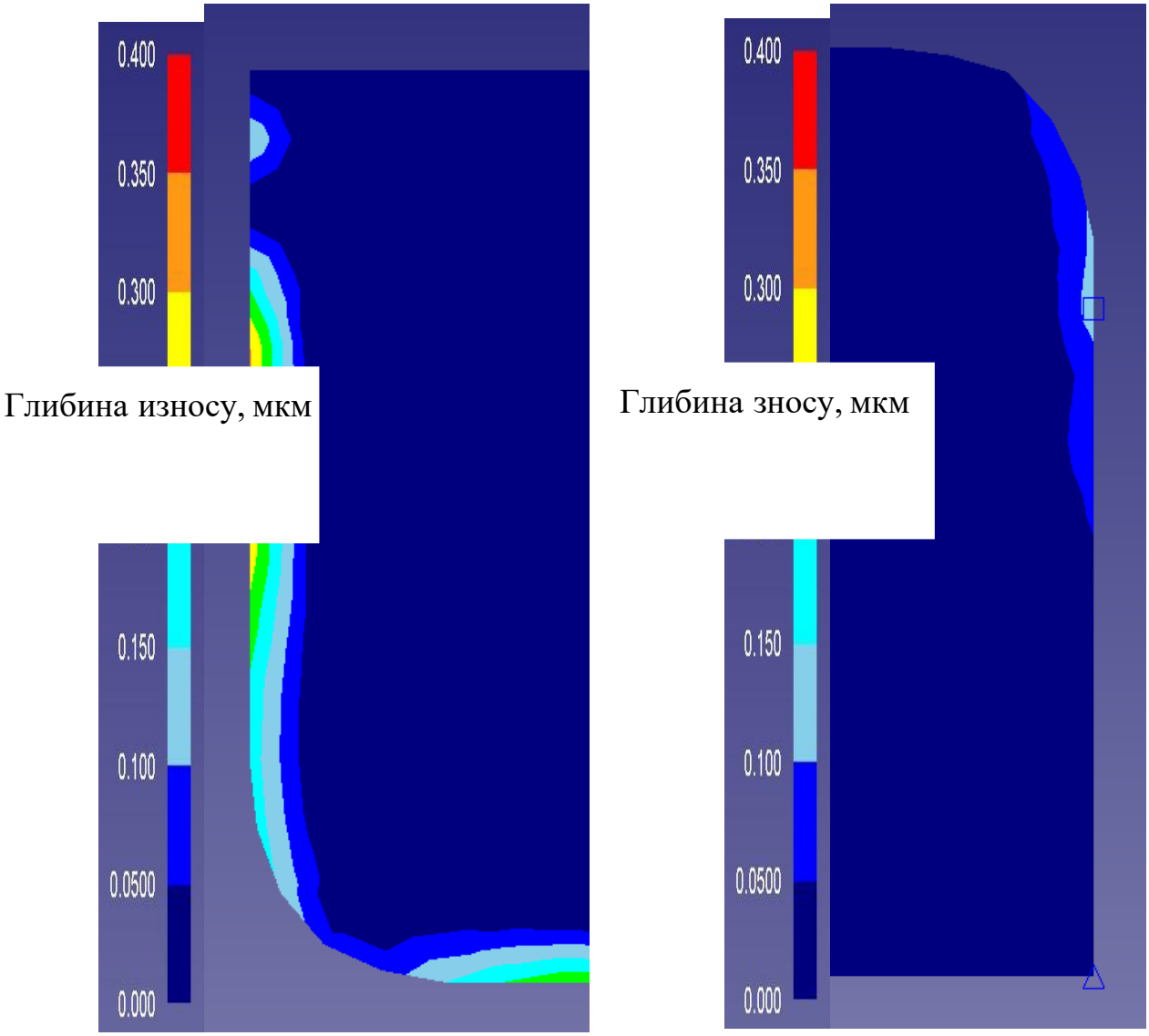
Матриця

Рисунок 3.8 – Зношування технологічного інструменту при технологічному зазорі 0,06мм



Пуансон Матриця

Рисунок 3.9 – Зношування технологічного інструменту при технологічному зазорі 0,08мм



Пуансон Матриця

Рисунок 3.10 – Зношування технологічного інструменту при технологічному зазорі 0,1мм

Аналіз отриманих графіків показав, що мінімальний знос інструмента відповідає найбільш сприятливим умовам для виконання операції розділення. Найменший знос спостерігається при зазорі між інструментами в діапазоні 0,02–0,04 мм, що обґрунтовує необхідність застосування саме цих значень для зменшення інтенсивності зносу робочих поверхонь матриці та пуансона.

Запропонована методика дозволяє прогнозувати рівень зносу робочого інструмента під час виконання операцій розділення в умовах холодного штампування тонколистового матеріалу.

4 Охорона праці в галузі та техногенна безпека

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Робота в ковальсько-пресових цехах пов’язана з низкою небезпечних і шкідливих факторів, які потребують постійного контролю. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно впроваджувати сучасні технології, покращувати вентиляцію, зменшувати рівень шуму та механізувати важкі фізичні процеси. Це сприятиме збереженню здоров’я працівників та підвищенню ефективності виробництва.

Основні шкідливі фактори

1. **Шум і вібрація**
   - Підвищений рівень шуму (перевищує допустимі норми) спричиняє перевтому, порушення слуху та нервової системи.
   - Джерела шуму: робота пресів, молотів, механізмів транспортування вантажів.
   - Вібрація виникає через неправильне встановлення обладнання, розбалансованість механізмів або їх зношення, що негативно впливає на кістково-м’язову та серцево-судинну системи.
2. **Забруднення повітряного середовища**
   - **Пил і дим:** Результат роботи нагрівальних печей, обробки металів, використання мастильних матеріалів для штампів.
   - **Шкідливі гази:** Оксид вуглецю (CO) і сірчистий газ (SO_2), що утворюються під час нагрівання металу. Вдихання цих речовин може спричинити отруєння, ураження дихальної системи та погіршення самопочуття.
3. **Температурні фактори**
   - Постійний контакт із розпеченими деталями та металом може призводити до теплових опіків і перегріву організму.

- Небезпечне випромінювання від розпечених поверхонь також негативно впливає на зір.

4. **Фізичне навантаження**

- Постійне переміщення важких деталей та інструментів вагою понад 10 кг призводить до перевантаження опорно-рухового апарату.
- Напружена робота в умовах високої температури і вологості сприяє швидкому стомленню.

5. **Небезпека механічних травм**

- Ураження електричним струмом через несправності обладнання або контакти з відкритими провідниками.
- Ризик травм від рухомих частин механізмів, ПТМ, незахищених деталей машин та відлітаючих часток деформованого матеріалу.

Класифікація умов праці

Виробничі процеси ковальсько-пресових цехів відносяться до II групи складності, яка характеризується несприятливими метеорологічними умовами та високим рівнем фізичного навантаження. Категорія робіт – важка, що вимагає застосування особливих засобів захисту працівників.

4.2 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Для зниження рівнів шуму до допустимих меж і запобігання вібрації, що перевищують встановлені норми на робочих місцях, рекомендується дотримуватися вимог ГОСТ 12.1.012-90 «Вібрація. Загальне освітлення» та ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Загальні вимоги безпеки». Це досягається через:

- впровадження автоматизації та механізації, які дозволяють уникнути присутності працівників у небезпечних зонах;
- зміни конструктивних параметрів пресів;
- заміни жорстких з'єднань на пружні;

- розташування нижніх частин фундаменту обладнання нижче рівня фундаменту стін, що знижує вплив коливань на них.

Для індивідуального захисту від вібрацій рекомендується використовувати взуття з амортизуючою підошвою, а для зниження впливу шуму застосовувати беруші, навушники або шоломи.
Для очищення повітря від пилу та рідких домішок використовуються циклони та пиловловлювачі (вихрові, жалюзійні, камерні).
Відпрацьовані паливно-мастильні матеріали, що підлягають повторному використанню, повинні зливатися в спеціальні відстійники після очищення та відстоювання.

Під час роботи в пресовому цеху необхідно дотримуватись таких правил техніки безпеки:

- Налагодження штампів на пресах і виконання ремонтних робіт повинні здійснюватися тільки при вимкненому електродвигуні та зупиненому маховику. Огляд і ремонт преса можна проводити тільки при нижньому положенні повзуна.
- Несправність преса або помилки в технологічному процесі штампування, зокрема неправильне налагодження і кріплення інструменту, невірне нагрівання заготовок або їх невідповідність нормам розміру та маси, можуть призвести до перевантаження преса та його поломки.
- Штампувальники повинні працювати в спеціальному одязі та взутті, носити каски і захисні окуляри, щоб уникнути травм від відскочила окалини, залипання заготовок у штампі та інших небезпек.
- Кліщі для тримача заготовок мають відповідати їх формі та бути такої довжини, щоб руки штампувальника не піддавалися впливу високої температури заготовки та не потрапляли в зону опускання штампа.
- Перед початком роботи необхідно перевірити справність механізмів управління, трубопроводів високого тиску та їх кріплень, наявність і справність контрольних приладів, огороджень механізмів і засобів механізації, а також змащення в місцях інтенсивного тертя.

- Електросистема преса повинна відповідати діючим правилам технічної експлуатації електроустановок. Кнопки управління мають живитись від мережі з напругою не більше 36 В. Штампувальникам заборонено відкривати електророзподільні шафи та пускові прилади преса.
- Для забезпечення надійної експлуатації преса необхідно виконувати регулярний огляд і своєчасний ремонт: перевіряти подачу мастила до змащуваних точок, перевіряти роботу муфти і гальм, підтягувати кріпильні деталі, що дозволяє продовжити роботу преса без необхідності передчасного ремонту.

4.3 Виробнича санітарія

Метеорологічні умови (або мікроклімат) на виробництві визначаються такими параметрами, як температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та тиск. Врахування цих параметрів важливе для забезпечення нормального теплового балансу між організмом людини та навколишнім середовищем. Тепловиділення організмом залежить від рівня навантаження і може варіюватися від 80 Дж/с (під час спокою) до 500 Дж/с (при важкій праці). Для нормального функціонування організму необхідно, щоб виділене тепло відводилось до навколишнього середовища.

Для забезпечення здорових і продуктивних умов праці важливо підтримувати чистоту повітря та нормальні метеорологічні умови в робочій зоні, на висоті до 2 метрів від підлоги. Оптимальний склад повітря складається з 78% азоту (N2), 20,9% кисню (O2), 0,03% вуглекислого газу (CO2) та 0,01% інших газів. Для підтримки такого складу необхідно впроваджувати такі заходи:

1. механізація і автоматизація виробничих процесів, що включають дистанційне управління, для захисту від шкідливих речовин і теплового випромінювання, а також підвищення продуктивності праці;

2. застосування технологій та обладнання, які не спричиняють утворення шкідливих речовин, зокрема герметизація обладнання, що містить небезпечні речовини;
3. влаштування ефективної вентиляції та опалення;
4. використання індивідуальних засобів захисту.

Для належної роботи вентиляційної системи необхідно виконувати певні санітарно-гігієнічні вимоги:

- кількість припливного повітря має бути майже рівною кількості повітря, що видаляється, з мінімальною різницею;
- припливні та витяжні системи повинні бути правильно розміщені: свіже повітря має подаватися до тих ділянок, де рівень шкідливих речовин мінімальний, а забруднене повітря має видалятися з ділянок з високим рівнем забруднення;
- вентиляційна система не повинна призводити до перегріву або переохолодження працівників;
- система не повинна створювати шум на робочих місцях;
- вентиляція повинна бути електробезпечна та вибухобезпечна.

У цеху застосовується природний повітрообмін, створюваний безканальною вентиляцією, що діє завдяки гравітаційним і вітровим силам. Зовнішнє повітря (приплив) надходить у приміщення через нижні аераційні отвори в зовнішніх стінах, а відведення повітря (витяжка) здійснюється через аераційні отвори, розташовані під стелею або в аераційних ліхтарях на даху.

Якщо цех працює в дві або три зміни, необхідно забезпечити належне освітлення протягом усього робочого часу. Оскільки природне освітлення може бути недостатнім, слід використовувати штучне освітлення. Загальне освітлення здійснюється шляхом рівномірного розподілу світильників по всьому приміщенню або в окремих зонах.

Штучне освітлення повинно забезпечувати можливість виконання технологічних операцій та налагодження обладнання без виникнення дефектів і травм у будь-яку зміну. Для цього використовують загальне або місцеве

освітлення. Світильники місцевого освітлення повинні мати відбивачі з матеріалів, що не відбивають світло, і захисний кут не менше 30°. Між будівлями, які освітлюються через віконні отвори, повинні бути витримані санітарні розриви, щоб забезпечити достатню освітленість і вентиляцію.

Освітленість для високоточних зорових робіт повинна складати 200 люкс. Це забезпечується використанням газорозрядних ламп високого тиску типу ДРЛ і ДРІ. На висоті від 6 до 12 м використовуються лампи потужністю від 50 до 125 Вт, а на висоті 9 м і вище – лампи потужністю від 250 Вт.

Щодо електробезпеки, цех відноситься до приміщень підвищеної небезпеки ураження електричним струмом відповідно до "Правил улаштування електроустановок ПУЕ-87". Тому особлива увага повинна бути приділена забезпеченню електробезпеки. Рекомендується використовувати підлогу з струмоізолюючих матеріалів на робочих місцях та надавати працівникам спеціалізовану одяг для захисту від електричних ударів.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежна безпека в цеху забезпечується шляхом впровадження організаційних заходів, спрямованих на запобігання пожежам, захист людей, зменшення можливих матеріальних втрат та зниження негативного впливу на навколишнє середовище в разі виникнення пожежі. Важливим є забезпечення швидкого виклику пожежних підрозділів і ефективного гасіння пожеж. Пожежна безпека регламентується стандартом СТП 549.12.314-87.

Цех класифікується за вибухо- та пожежебезпечністю як категорія Г, а для комор з пальними матеріалами та іншими приміщеннями визначені відповідні категорії за рівнем небезпеки.

Основні організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки включають:

- визначення місць для куріння, використання відкритого вогню та побутових нагрівальних приладів;

- встановлення порядку для виконання пожежонебезпечних робіт, зокрема зварювальних;
- обмеження кількості заготовок і готової продукції на виробничих ділянках;
- визначення правил прибирання горючих відходів та зберігання спецодягу;
- відключення електрообладнання у разі пожежі;
- організація обслуговування технічних засобів пожежного захисту, таких як водопровід для гасіння пожеж, сигналізація та вогнегасники;
- проведення планових оглядів та ремонтів електричних установок та іншого обладнання.

Щодо пожежної безпеки технологічних процесів:

- будівля цеху є одноповерховою і відповідає стандартам ОНТП-0182;
- технологічне обладнання є пожежобезпечним за умови нормальної експлуатації, а для випадку небезпечних поломок передбачені захисні заходи;
- обробка титанових і алюмінієвих сплавів здійснюється на окремих ділянках із забезпеченням необхідних засобів для гасіння пожеж;
- підлога біля нагрівальних печей та ковальсько-штампувального обладнання покрита рифленими металевими плитами;
- для змащення штампів використовуються негорючі та важкогорючі матеріали;
- заготовки з алюмінієвих та титанових сплавів не нагріваються одночасно з заготовками з чорних металів;
- перед завантаженням заготовок в піч вони очищуються від тирси, пилу та масла;
- внутрішній обсяг печей регулярно очищається від окалини та шлаку;
- нагрівальні печі оснащені приладами для контролю і регулювання температури;
- не допускається експлуатація обладнання з несправностями, які можуть призвести до пожежі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. В результаті аналізу літературних даних встановлено, що підвищений знос ріжучих поверхонь штампів для розділових операцій істотно впливає на якість штампованих деталей, погіршуючи її. Крім того, знос збільшує опір різанню до 20% і підвищує загальні витрати енергії на різання до 40% у порівнянні з інструментом із гостро заточеними ріжучими крайками.

2. Потужним інструментом для аналізу та оптимізації процесів штампування є використання сучасних методів, таких як метод скінченних елементів, моделі зносу та аналіз температурного впливу.

3. Математичне моделювання є важливим інструментом для аналізу стійкості штампів при виконанні розділових операцій, таких як вирубка, прокатка або різання. Основною метою такого моделювання є вивчення впливу різних параметрів на довговічність і ефективність роботи штампів, а також прогнозування їх поведінки під час експлуатації.

4. Виявлено, що мінімальний знос інструмента відповідає найбільш сприятливим умовам для виконання операції розділення. Найменший знос спостерігається при зазорі між інструментами в діапазоні 0,02–0,04 мм, що обґрунтовує необхідність застосування саме цих значень для зменшення інтенсивності зносу робочих поверхонь матриці та пуансона.

5. Запропонована методика дозволяє прогнозувати рівень зносу робочого інструмента під час виконання операцій розділення в умовах холодного штампування тонколистового матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Явтушенко О.В. Проектування та розрахунок кривошипних пресів. Курсове проектування: навч. посібник / О.В. Явтушенко, А.В. Глебенко, Т.О. Васильченко. – Запоріжжя: Вид-во ЗНТУ, 2012. – 436 с.
2. Моделювання мехатронної ковальсько-пресової систем: навчальний посібник / С. В. Швець, У. С. Швець, В. М. Борисюк. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 177 с.
3. Маковей В. О., Бородій Ю. П. Вплив поверхневого зміцнення на характер зношування ріжучих кромок// Вестник машиностроения. № 50, С. 111-117. 2007
4. Маковей В. О., Бородій Ю. П., Куріхін В. С. Формування та дослідження комбінованих зносостійких покриттів на ріжучих кромках штампів та на деталях машин// Вестник машиностроения. № 55, С. 256-265. 2009.
5. Маковей В. О. Дослідження стійкості штампів, зносостійкості та тріщиностійкості матеріалів// Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» №60, 2010. С39-44.
6. Маковей В.О., Стародуб М.П. Стійкість карбувальніх штемпелів // Удосконалення процесів та обладнання обробки металів тиском в металургії та машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. - Краматорськ, 2005.-С. 599-601.
7. Бородій Ю.П. Підвищення стійкості ріжучих елементів розділяючих штампів поверхневим зміцненням// Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». № 60, С. 60-63. 2010.
8. Рижков, Ф.Н. Підвищення ефективності поверхневого зміцнення наплавленням шляхом формування комбінованих твердих покриттів Текст. / Ф.Н. Рижков, В.Я. Воротніков, Ю.А. Артеменко [и др.] // Київ:

КНТУ. 2000. 143 с.

9. А.О. Мазурик, К.В. Мелашенко, Г. Г. Лобачова. Електроіскрове легування сталі ст.3 нікелем, вольфрамом та вуглецем//Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій .Тернопіль , с.60.2015.
10. Артеменко, Ю.А. Дослідження процесів кристалізації при наплавленні зносостійких сплавів на прозорих сольових моделях Текст. / Ю.А. Артеменко, Д.В.Бартенев, АВ Макушенко та ін. // Технологія металів. 2008. №8. С.41-42.
11. Савицький Ю.В. Технологічні методи підвищення довговічності вирубних штампів// Вісник Хмельницького національного університету, №6. С 51-54. 2016.
12. Мирненко Ю. П., Пеньов О. В., Бакарджиєв Р. О. Підвищення стійкості вирубних штампів на машинобудівних заводах//Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання;Вип. 19, т. 4 .С. 188-197
13. Голуб Д. М., Кущій Г. М., Гайворонський О. О. Вплив термообробки на механічні властивості наплавленого металу в штампових сталях// ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (46), 2019.С11-16.
14. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія холодного штампування та конструювання штампів» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка спеціалізацій Системи комп’ютерних технологій машинобудування пластичним формоутворенням, Технології композиційних та наноструктурних конструкцій, Технології озброєння та засобів безпеки/ Уклад.: Орлюк М.В., Вишневський П.С., Піманов В. В., Лавриненков А.Д. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 80 с.- http://ela.kpi.ua/handle/123456789/20857
15. В.І.Носуленко, В.М.НІмельов Особливості технології розмірної обробки електричною дугою спряжених пар пуансонів і матриць.

Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету/ техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / - Вип. 15,- КНТУ.

16.. Деклар. Пат. 69535 А Україна, МПК B23H1/00,B23H1/02. Спосіб розмірної обробки ступінчастих стержнів електричною дугою / В.І.Носуленко, О.С.Чумаченко, П.М.Великий, В.М.НІмельов (Україна). - №2003076057; 3аявл.01.07.2003; Опубл. 15.09.2004,Бюл.№9.

17.Фадєєв В.А. Наукові основи вибору структури та параметрів технологічних систем механічної обробки високоточних деталей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / В.А. Фадєєв. − Харків, 2008.

18.Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навчальний посібник / В. В. Кухар, О. С. Аніщенко, А. Г. Присяжний. – Маріуполь : ПДТУ, 2019. – 234 с.

19. Купчик М.П. та інші. Основи охорони праці. – К.: Основа, 200. -416с.

20.Геврик Е.О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.:Ельга, Ніка-центр. 2003. – 280с.

21. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник.-Львів.: Афіша, 2003. – 320с.

22.. Гадзюк М.П., Желібо Е.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Зав. ред. Гадзюк М.П. – К.: Каравелла, 2003. – 408с.

23. Магістерська робота. Методичні вказівки до підготовки випускної кваліфікаційної роботи магістра для студентів ЗДІА спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”, ОПП – «Металургійне обладнання», рівень вищої освіти - магістр / Укл.: Огінський Й.К., Таратута К.В., Шевченко І.А., Ковязін О.С., Васильченко Т.О.− Запоріжжя, 2018. – 76с

СПИСОК ВИКОНАНИХ КРЕСЛЕНЬ

№ з/п	Найменування	Формат	Кількість
1	Лист переходів технологічного процесу	А1	1
2	Вирубний штамп	А1	3
3	Деталювання	А1	1
4	Дослідження зношування технологічного інструменту від технологічного зазору	А1	2

ДОДАТКИ