

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА"
ХОЛОДНИМ ЛИСТОВИМ ШТАМПУВАННЯМ ПРИ ДВООПЕРАЦІЙНІЙ
ОБРОБЦІ

08-26.МКР.01.000.000.ПЗ

Виконав: студент 2 курсу,
групи 1ПМ-19м
спеціальності 131 –

«Прикладна механіка»

Артемчук О.Ю. _____

Керівник: к.т.н., доцент

Савуляк В.В. _____

Рецензент: к.т.н., доцент

Макарова Т. В. _____

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний ступінь – «Магістр»
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ТАМ
д.т.н., професор Козлов Л. Г.

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Артемчук Олег Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): Забезпечення якості виготовлення деталі "Втулка" холодним листовим штампуванням при двоопераційній обробці

керівник МКР доц., к.т.н. Савуляк В.В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «25» вересня 2020 _ року № 214 .

2. Строк подання студентом МКР: 10 грудня

3. Вихідні дані до МКР: креслення деталі "Втулка", технологічний процес виготовлення деталі "Втулка", програма випуску деталі N = 10000

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Принципи підвищення якості виготовлення деталі "Втулка"; 2. Побудова моделі вирубування та дослідження впливу геометричних параметрів на напружений стан та пошкодження матеріалу деталі; 3. Економічна частина; 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Креслення деталі "Втулка"; 2. Схематичне зображення технологічного процесу виготовлення деталі "Втулка"; 3. Модель процесу формування деталі "Втулка". 4. План експериментальних досліджень та обробка результатів експерименту; 5. Результати моделювання та рекомендації

6. Консультанти розділів МКР

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Савуляк В.В. доцент кафедри ТАМ		
Економічна частина	Лесько О.Й. професор, зав. кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Віштак І.В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « 5 » жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	10.10.2020	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	20.10.2020	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	22.10.2020	
4	Розв'язання поставлених задач	28.11.2020	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	20.11.2020	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	20.11.2020	
7	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	20.11.2020	
8	Попередній захист МКР	27.11.2020	
9	Перевірка роботи на плагіат	20.11.2020	
10	Нормоконтроль МКР	4.12.2020	
11	Рецензування МКР	8.12.2020	
12	Захист МКР	16.12.2020	

Студент

(підпис)

Керівник МКР

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	6
ABSTRACT	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИПИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА"	11
1.1 Фактори, що впливають на якість виготовлення деталі "Втулка"	11
1.2 Існуюча технологія виготовлення деталі "Втулка"	14
1.3 Основи процесу вирубування і пробивання	16
1.4 Формувальна операція	32
1.5 Постановка задач	33
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МОДЕЛІ ВИРУБУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПОШКОДЖЕНІСТЬ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА"	34
2.1 Встановлення геометричних параметрів робочої частини вирубного штампа	34
2.2 Розробка моделі вирубування та параметри необхідні для роботи програми «Deform-3D»	35
2.3. Експериментальні дослідження	39
2.4. Вплив товщини листа на пошкодження та товщину стінки циліндричної частини після формувальної операції	47
2.5 Визначення відсотку браку після двоопераційної обробки	50
2.5 Висновки до розділу	53
РОЗДІЛ ІІІ. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	54
3.1 Оцінювання експертами потенціалу підвищення якості виготовлення кришки радіатора	54
3.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на розробку нового технічного рішення	58

3.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки	62
3.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності	64
3.5 Висновки до розділу	66
РОЗДІЛ IV. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	68
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці	68
4.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	69
4.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи	74
4.4 Пожежна безпека	75
4.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях	77
4.6 Висновки до розділу	80
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	83
ДОДАТКИ	85

АНОТАЦІЯ

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено та запропоновано рекомендації щодо вибору параметрів заготовки та елементів вирубного штампу для послідувочої обробки деталі витягуванням.

В роботі виконаний аналіз впливу на якість виготовлення деталей "Втулка" геометричних розмірів заготовки, матриці та пуансона, неточностей оснащення, отримано залежності впливу вище зазначених факторів на пошкодження, що виникають в деталі.

Проведені економічні розрахунки та було визначено та розраховано кошторис капітальних витрат на розробку нового технологічного процесу на його реалізацію та впровадження, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

У графічній частині представлено робочі креслення деталі, заготовки, плакати 3D-моделей деталі та конструктивних елементів вирубного штампу, послідовність створення моделі вирубання в програмі «Deform-3D», графічні залежності отримані в результаті чисельних експериментів.

ABSTRACT

In the master's qualification work developed and proposed recommendations for the selection of the parameters of the workpiece and the elements of the cutting stamp for subsequent processing of the part by drawing.

The paper analyzes the impact on the quality of manufacturing parts "Sleeve" geometric dimensions of the workpiece, matrix and punch, equipment inaccuracies, obtained the dependence of the influence of the above factors on the damage occurring in the part.

Economic calculations were made and an estimate of capital expenditures for the development of a new technological process for its implementation and implementation was determined and calculated, as well as the economic efficiency of the innovative solution was assessed.

The graphic part presents working drawings of the part, blanks, posters of 3D-models of the part and structural elements of the cutting stamp, the sequence of creating a model of cutting in the program "Deform-3D", graphic dependences obtained as a result of numerical experiments

ВСТУП

Підтримання виробництва на конкурентоздатному рівні вимагає створення відповідної культури поведінки та підходів до виробничих процесів. Це, в свою чергу, формує запит на дослідження процесів, пов'язаних з виготовленням виробів, створення найбільш ефективних рішень. Одним з напрямків покращення конкурентоздатності виробів, є підвищення якості технологічних процесів та впровадження принципів бездефектного виробництва, що передбачає детальну розробку параметрів технологічних процесів на всіх етапах проектування та виробництва.

Актуальність теми

Основною метою виробничої діяльності промислового виробництва є отримання прибутків та забезпечення потреб споживачів. В умовах високої конкуренції цього вдається досягти за рахунок забезпечення високої якості продукції при низькій її вартості для споживача. Зменшення вартості виготовлення продукції можливе кількома шляхами, одним з яких є здешевлення виготовлення. Для машинобудівних підприємств, які випускають продукцію широкого вжитку без застосування провідних технологій, здешевлення продукції можливе за рахунок спрощення і здешевлення виготовлення заготовки, зокрема різними видами штампування. Цей метод передбачає проектування заготовки та штампової оснастки, на основі досвіду та емпіричних залежностей. Однак такий підхід не завжди дають прийнятний результат в реальному виробництві. Результатом чого є поява браку або дефектів на деталях. Тому, при вивченні методів і засобів отримання заготовок з листових матеріалів холодним пластичним деформуванням, слід приділити увагу матеріалу заготовки, тиску що створює прес, похибкам взаємного розташування заготовок, штампів та елементів штампів. Ці всі складові компоненти методів і засобів є найменш вивченим і в той же час важливим при виготовленні продукції, що свідчить про актуальність вибраної теми дослідження.

Метою роботи є зменшення кількості браку, що виникає в процесі холодної двоопераційної обробки вісесиметричної деталі з центральним отвором за рахунок уточнення геометричних параметрів заготовки та оснащення і його елементів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. виявити вплив основних геометричних параметрів на пошкодженість матеріалу заготовки та товщину стінки в процесі вирубування та наступного витягування вісесиметричної деталі;
2. змодельовати процес вирубування деталі «Втулка»;
3. змодельовати процес витягування вісесиметричної деталі;
4. встановити взаємозв'язок між геометричними параметрами заготовки, матриці і пуансона та їх взаємного розташування з кількістю браку, який виникає під час двоопераційної обробки.

Об'єкт дослідження: процеси холодного пластичного деформування.

Предмет дослідження: пошкодження заготовки в процесі двоопераційної холодної пластичної обробки.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження холодного пластичного деформування виконані за допомогою методу прикладної теорії пластичності. Експериментальні дослідження виконані на стандартному обладнанні на підприємстві ПрАТ "Вінницький завод "Маяк" та за допомогою програмного забезпечення «Deform-3D».

Наукова новизна одержаних результатів:

- встановлено залежність рівня пошкоджень матеріалу заготовки від товщини листа та зазору між матрицею і вирубним пуансоном;
- вперше показано, що за умови вільного витягування (зазор більше товщини листа) відхилення від співвісності витяжного пуансона і матриці сприяє зменшенню мінімальної товщини стінки.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблені рекомендації щодо вибору розмірів вирубного пуансону, матриці та зазору між ними;

2. Отримано рівняння регресії, яке описує вплив товщини заготовки і зазору на ширину зони пошкодження в процесі вирубання заготовки;
3. Рекомендовано обмежити відхилення від співвісності матриці і пуансона витяжного штампу величиною не більше 0,2 мм.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дослідження були отримані самостійно автором. Мета та завдання дослідження узгоджені з науковим керівником.

Апробація результатів. Основні матеріали роботи доповідались на XLIX науково-технічній конференції ВНТУ, регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників в науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області.

Публікації. Матеріали магістерської кваліфікаційної роботи були опубліковані в тезах доповідей науково технічної інтернет-конференції ВНТУ [9].

РОЗДІЛ 1 ПРИНЦИПИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА"

1.1 Фактори, що впливають на якість виготовлення деталі "Втулка"

Деталь "Втулка" є частиною складальної одиниці "Корпуса радіатора", що входить у маслонаповнений радіатор "Термія". Вигляд радіатора показаний на рисунку 1.1 а. Основним призначення деталі "Втулка" є формування внутрішнього об'єму в якому буде закріплений термоелектричний нагрівальний елемент (ТЕН) (рисунок 1.1 б).



Рисунок 1.1 – Вигляд радіатора "Термія економ" та схеми установки ТЕН

Відсутність протікань мастила з внутрішньої порожнини корпусу радіатора забезпечується за рахунок контактного приварювання деталі "Втулка" до стінки радіатора та різьового з'єднання між складальною

одиницею ТЕН та "Втулкою". За умови відсутності тріщин та якісно нарізаної різи це різьове з'єднання забезпечує високу ступінь герметичності.

Загальний вид деталі "Втулка" та типові дефекти при виготовленні показані на рисунку 1.2.

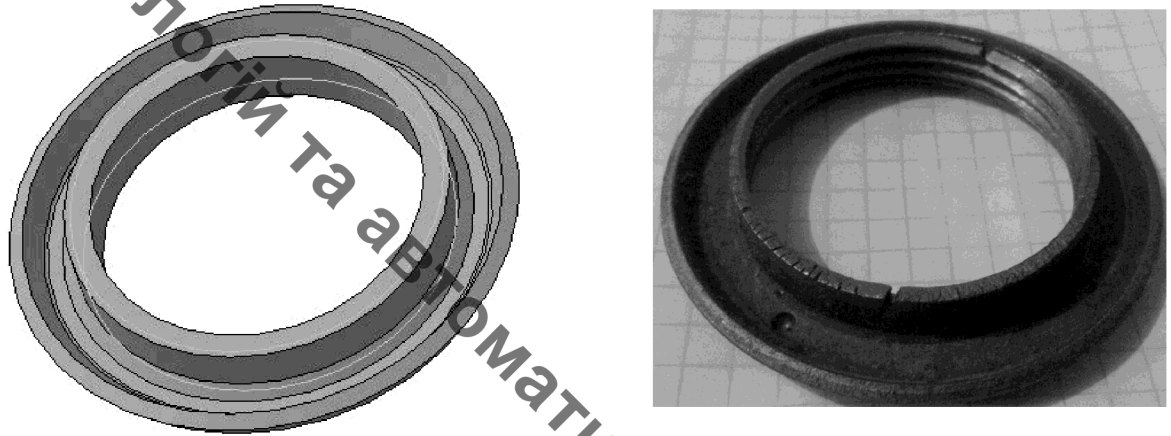


Рисунок 1.2 – Загальний вид та типові дефекти деталі "Втулка"

Співвідношення дефективних деталей "Втулка" до обсягу середньої партії досягає 50%.

Розподіл типових дефектів по видам, що виявляються при виготовленні та контролі деталі "Втулка" представлений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Розподіл типових дефектів на 100 дефектних деталей

Дефект	Кількість появ	Відсоток
Тріщина	67	67%
Відсутність тіла деталі (недостатня товщина стілки) при нарізанні різи	18	28%
Невідповідність розмірів	3	3%
Відсутність проштампованих пуклей	2	2%

З таблиці 1.1 слідує, що найбільша кількість дефектів проявляється у вигляді тріщин на циліндричній частині деталі "Втулка" та відсутність достатнього об'єму тіла деталі під час нарізання різі. Тому найбільш ефективними будуть заходи щодо усунення причин появи тріщин та потоншення листа.

Фактичною причиною появи тріщини, є вичерпання ресурсу пластичності матеріалу, або накопичення критичної кількості пошкоджень в матеріалі деталі. Також, у випадку наявності мікротріщин в навантаженій зоні вони починають розвиватись при значно менших навантаженнях і деформаціях, ніж непошкоджений матеріал [1]. В результаті того, що товщина листового матеріалу є непостійною по площині заготовки, так само, як і його механічні властивості необхідно встановлювати величину розсіювання параметрів пластичності матеріалів. Визначення величини граничної деформації матеріалу відбувається шляхом випробувань. Основні фактори, що впливають на появу дефектів зображені на рисунку 1.3.

Фактично їх можна розділити на дві групи – пов'язані з матеріально-технічним забезпеченням і пов'язані з технологічним процесом.

Більш перспективними в економічному плані видаються зміни пов'язані з налаштуванням технологічного процесу, відтак основні дослідження причин появи тріщин та рекомендації щодо їх усунення будуть мати технологічний характер та базуватись на типовій технології виготовлення деталі та існуючій технологічній оснастці.

Іншою великою групою дефектів є відсутність тіла (недостатня товщина заготовки) під час нарізання різі, що може бути пов'язане з потоншенням листового матеріалу під час витягування або його не співвісністю з поверхнею закріплення, оскільки нарізання різі відбувається за допомогою мітчика на токарному верстаті.

Відтак, встановлення причини цього дефекту дозволить уникнути або зменшити частоту його появи.

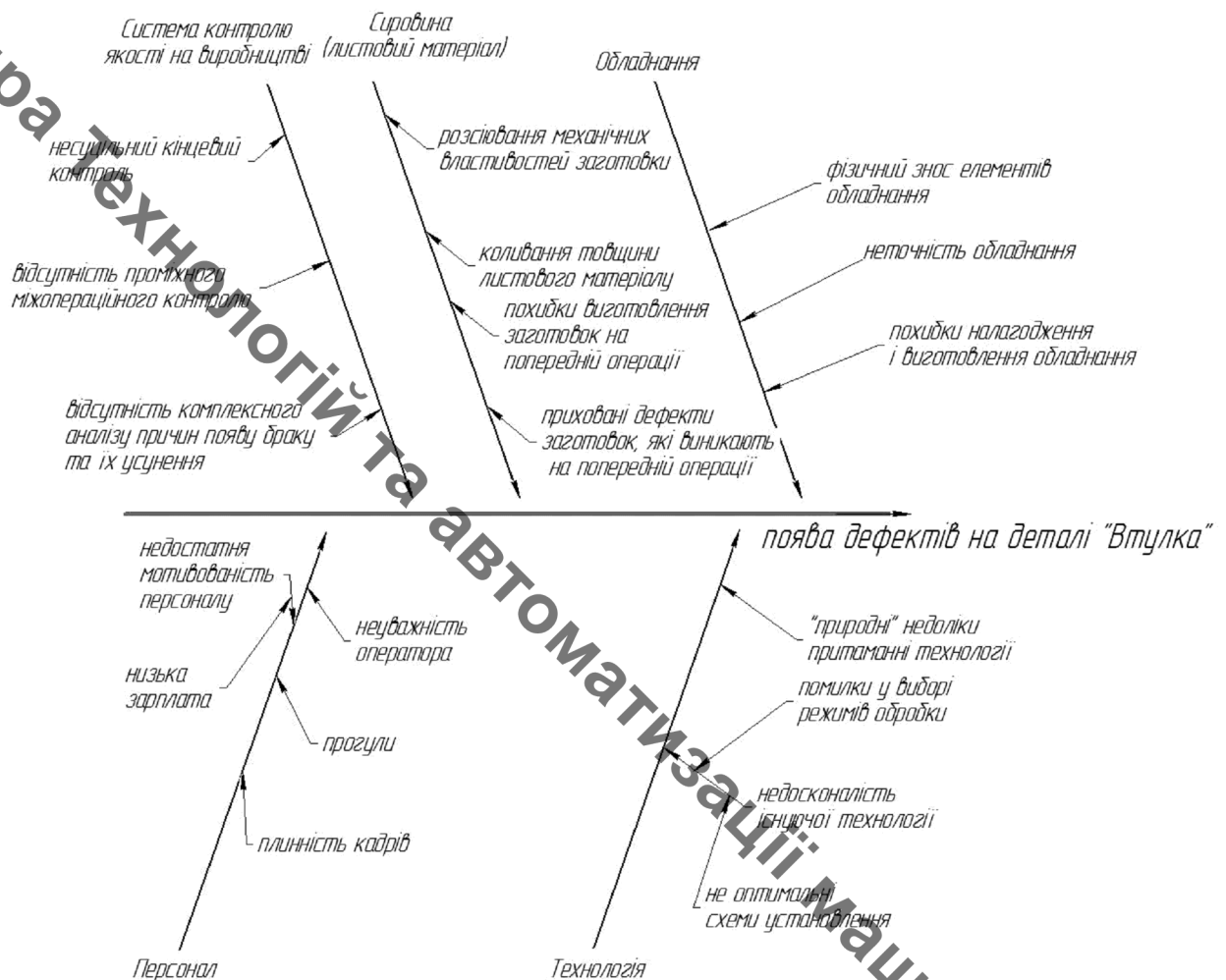


Рисунок 1.3 – Причинно-наслідкова діаграма аналізу появи дефектів на деталі "Втулка"

1.2 Існуюча технологія виготовлення деталі "Втулка"

Основними ознаками, які впливають на вибір способу виготовлення є: конфігурація деталі і її габарити, механічні властивості і товщина матеріалу, точність деталі і т.д.

Оскільки деталь «Втулка» відноситься до типових деталей, які отримують обробкою тиском, то технологія виготовлення також є типовою. Зазвичай, для виготовлення деталей класу "Ковпачок", до якого входить наша деталь, застосовують наступні операції:

- вирубування;
- відбортовування;
- формування.

Розглянемо технологію виготовлення деталі «Втулка» (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Технологія виготовлення деталі "Втулка"

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Хід повзуна	Обладнання
005	Заготівельна	Розрізати лист на полоси шириною 69×1250 мм	-	Ножиці листові кривошипні НЗ118Б
010	Комбінована	Пробити отвір Ø62,4 під розбортовку і вирубати контур деталі	30	Прес КД2326
015	Формувальна	Формувати деталь, отвір під різь витримуючи розміри згідно ескізу	50	Прес К2330Б
020	Формувальна	Формувати 4 пуклі за 1 удар	40	Прес КД2322
025	Контрольна	Перевірити марку матеріалу та розміри		

Відповідно до рисунку 1.3 та таблиці 1.2 визначальними, з точки зору формування дефектів, є операції 010 і 015, які за своєю структурою подібні до одноопераційного вирубування та одноопераційного витягування. Ця подібність проявляється у формуванні вісесиметричної деталі за один хід з плоскої вирубаної вісесиметричної заготовки шляхом одночасного відбортування та витягування частин деталі. Як згадувалось вище, оскільки основними дефектами є тріщини та потоншення на циліндричній частині, що піддається витягуванню, то доцільно дослідити процес формоутворення циліндричної частини деталі "Втулка". В роботі [2] проведені попередньо

дослідження встановили, що найбільш важливим фактором, який впливає на пошкодженість матеріалу і появу тріщин, є величина внутрішнього отвору пробитого на попередній операції 010 та зазор між матрицею і пуансоном на формувальній операції. В результаті формувальної операції 015 на циліндричній частині деталі "Втулка", починаючи з торця, розвиваються тріщини, які є наслідком накопичених пошкоджень матеріалу. Оскільки, накопичення пошкоджень відбувається під час кожної формозміни матеріалу, то зменшення швидкості їх накопичення на кожній з операцій дозволить зменшити кількість браку через появу тріщин.

1.3. Основи процесу вирубкування і пробивання

1.3.1. Технологічність деталей

Технологічні процеси листового штампування можуть бути раціональними лише за умови створення технологічної конструкції або форми деталі, що допускає найбільш просте і економічне виготовлення.

Габаритні розміри плоских деталей (заготовок) з металів, що вирубуються в штампах, складають від декількох міліметрів до декількох метрів. Товщина цих деталей змінюється від 0,03-0,05 мм до 25 мм і вище. Верхня межа товщини і габаритних розмірів деталей, одержуваних вирубкою, обмежується потужністю наявного на заводі парку обладнання (пресів) і розмірами столу і повзуна преса, а нижня межа - можливістю виготовлення штампів.

Мінімальна ширина деталі або ділянки контуру, що отримується вирубкою, повинна бути більше 1,5s.

Радіус заокруглення R зовнішнього контуру при вирубці деталі з полоси, ширина якої дорівнює ширині b деталі, знаходять із співвідношення $R > 0,6b$, щоб уникнути утворення виступів.

Мінімальні розміри отворів, що пробиваються залежать від їх форми і механічних властивостей штампованого матеріалу. У таблиці 1.3 наведені значення мінімальних отворів, що пробиваються в звичайних штампах [1].

Таблиця 1.3 – Мінімальні розміри отворів, що пробиваються в звичайних штампах, в частках від s

Форма отвору	Матеріал деталі				
	Сталь σ_t , кг/мм ²			Латунь, мідь	Алюміній
	>80	50-80	<50		
кругла d	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7
квадратна a	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6
прямокутна b	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5

При пробиванні отворів необхідно враховувати наступні положення:

- співвідношення $d > s$ справедливо тільки для швидкохідних механічних пресів, в яких пуансон піддається ударному навантаженню. При використанні гідравлічних пресів можна d брати менше s ;

- використовуючи спеціальні диропробивні штампи, можна пробивати отвори в твердій сталі $d = 0,5s$, в м'якої сталі і латуні $d = 0,35s$, алюмінії $d = 0,3s$;

- вібраційний спосіб пробивання отворів дозволяє здійснювати пробивання отворів $d = (0,5 \dots 0,4) s$;

- якщо пробиваний отвір має уступи, то їх висота повинна бути більше товщини штампованого матеріалу, тобто $h \geq s$. При менших значеннях h отримати уступи пробивкою неможливо.

Сторони вирубуваного контуру або такого, що пробивається, повинні сполучатися плавними кривими з якомога більшими радіусами R . Радіуси R спряження повинні бути нормалізовані, а їх мінімальні значення в долях товщини s повинні задовольняти даним таблиці 1.4. Виняток із зазначеного

правила становлять деталі, одержувані безвідходним штампуванням, або деталі, контур (отвір) яких вирубують (пробивають) складними пуансонами.

Таблиця 1.4 – Значення радіусів спряження під час вирубки або пробивання

Матеріал	При вирубці контуру		при пробиванні	
	$\alpha > 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$	$\alpha > 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$
Сталь, латунь, алюміній	0,3s	0,5s	0,4s	0,7s
Титановий сплав з нагріванням	0,5s	0,7s	0,6s	0,8s

Примітка. α - кут між спряженими сторонами; s - товщина штампованої деталі.

1.3.2. Сутність процесів вирубки і пробивки. Осередок деформації

Вирубка служить для отримання з листа деталей із зовнішнім контуром, при пробиванні отримують отвір в деталі. Вирубку і пробивання здійснюють в штампах, робочими органами яких є пуансон і матриця. Між пуансоном і матрицею встановлюється певний зазор z.

Лист або полосу встановлюють на матрицю, що має гострі кромки. Пуансон, також має гострі кромки, опускаючись разом з верхньою частиною штампа, впроваджується в лист. При цьому, як і при відрізання і розрізання, відбувається відносне зміщення металу листа в матрицю, яке закінчується руйнуванням металу в зазорі, тобто вирубкуванням або пробиванням. Відокремлена частина листа провалюється в отвір матриці, а відхід при ході пуансона вгору знімається з пуансона знімачем. Схема найпростішого штампа для вирубки і пробивки представлена на рисунку 1.4 [2].

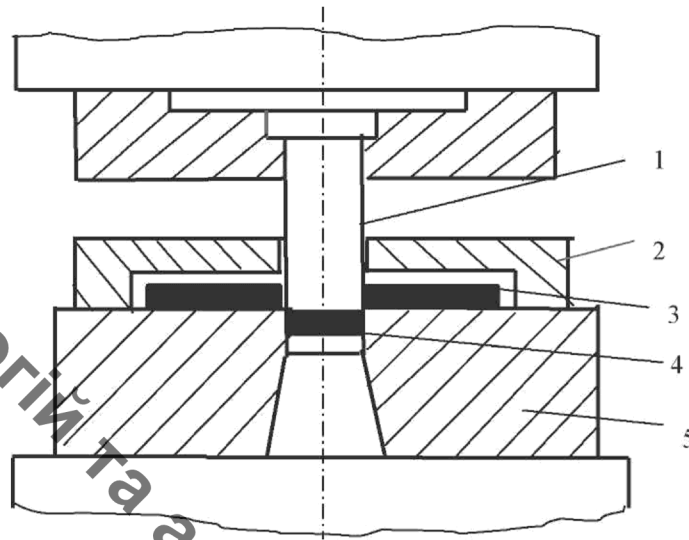


Рисунок 1.4 – Схема штампа для вирубання і пробивання:

1 - пуансон; 2 - знімач; 3 - лист (полоса); 4 - деталь в разі вирубки, відхід в разі пробивання; 5 - матриця

Процес вирубання (пробивання), як і процес відрізки листових матеріалів, складається з трьох послідовних стадій: пружної, пластичної та руйнування (сколювання). Процес починається з пружної деформації, коли пуансон входить в контакт з листом (заготовкою) і утворюється поверхня контакту. На першій стадії, в момент впровадження пуансона в метал заготовки і вдавнення її в отвір матриці, відбувається вигин поверхні заготовки близько різальних крайок, втрата площинності деталі внаслідок дії згинальних моментів, викликаних силами різання.

Надалі, у міру впровадження пуансона в лист (заготовку), починається стадія пластичних деформацій зі значним вигином і розтягуванням волокон металу (рисунок 1.5).

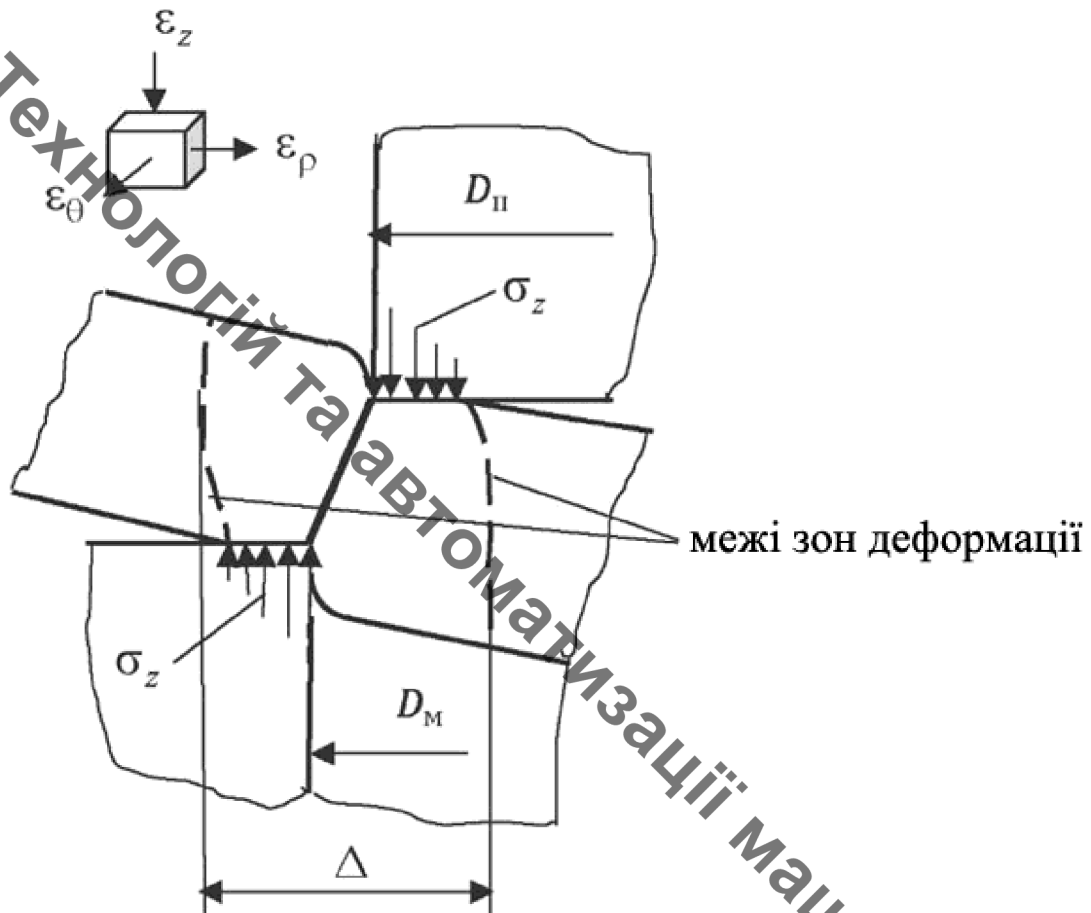


Рисунок 1.5 – Осередок деформації при вирубці пробиванні

Подібно до процесу розрізання, ширина зони пластичної деформації $\Delta = (0,6 \dots 1,2)s$ залежить від властивостей металу (для більш пластичного металу, зона пластичних деформацій ширше), від зазору z (збільшується зі зростанням останнього), від ступеня притуплення різальних крайок (збільшується зі зростанням притуплення) і від швидкості деформування (зменшується зі збільшенням швидкості деформування).

На початку третьої стадії уздовж ріжучих крайок матриці, а потім і пуансона в металі з'являються мікротріщини, далі - макротріщини, які швидко ростуть вглиб металу. При нормальному зазорі ці тріщини з'єднуються. При злитті тріщин процес відділення металу закінчується. Деталь відокремлюється від листа. Зусилля вирубки (пробивання) різко падає. Відділення деталі відбувається перш, ніж пуансон проникне в метал на повну його товщину.

Основний фактор, що визначає глибину впровадження пуансона – жорсткість матеріалу, яка тим вище, чим більше твердість, межа міцності на зріз і товщина металу. Більш жорсткий матеріал менше згинається, і глибина впровадження пуансона менше. Звідси відносна глибина впровадження пуансона h_p/s (відношення глибини впровадження пуансона до товщини металу) менше при великій товщині, ніж при малій. При оптимальному зазорі вигин металу незначний, і тому мала глибина впровадження пуансона. Збільшення зазору, а також затуплення ріжучих крайок викликають збільшення глибини впровадження пуансона.

1.3.3. Оптимальний зазор

Задовільна якість деталей забезпечується правильними і рівномірними зазорами і паралельністю різальних крайок. Для поліпшення якості поверхні зрізу бажано приймати такі значення зазору, при яких тріщини, що йдуть від різальних крайок пуансона і матриці, зустрічаються своїми вершинами, утворюючи єдину поверхню. Рівняння, що визначає умови оптимального зазору, справедливе і для вирубування і для пробивання (рисунок 1.6)

$$z_{\text{опт}} = (s - h) \operatorname{tg} \beta. \quad (1.1)$$

При зазорі менше оптимального $z < z_{\text{опт}}$, сколювальні тріщини не збігаються. Матеріал, що знаходиться між тріщинами в кінці робочого ходу пуансона, руйнується. При цьому утворюються два або кілька блискучих поясків, розділених між собою зонами сколювання. Ці пояски погіршують якість поверхні розділу і є концентраторами напружень. При малому зазорі зростає концентрація нормальних напружень у робочих крайок пуансона і матриці. Це викликає швидке затуплення робочих крайок і, отже, зниження стійкості.

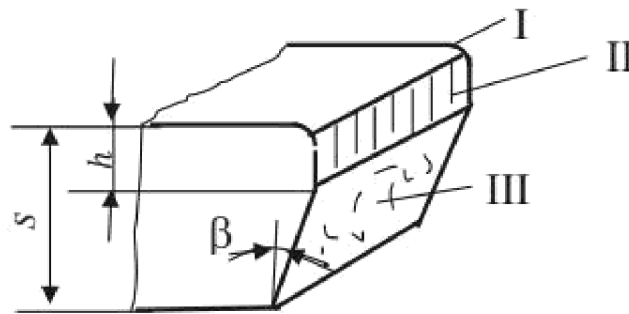


Рисунок 1.6 – Профіль зрізу полоси (s - товщина полоси, h - глибина впровадження пуансона в лист)

Зі зменшенням зазору (в порівнянні з оптимальним) вигинальний момент зменшується. При цьому напруження розтягу, що діють в металі в радіальному напрямку, зменшуються і майже не впливають на пружні деформації вирубуваної заготовки. Однак в такому випадку зростають в заготовці напруження стиску, в результаті чого після вирубку виникають зворотні за знаком розтягуючі пружні деформації. Ці деформації призводять до збільшення діаметра вирубаного деталі і до зменшення пробитого отвору, тоді деталь залишається в матриці, а відхід щільно охоплює пуансон.

При зазорі, більшому за оптимальний зазор, тріщини сколювання виходять на вільні поверхні листа на деякому віддаленні від ріжучих кромки інструменту і утворюють задирок. При великому зазорі відбувається збільшення розтягування і вигину металу заготовки. Це призводить до втрати площинності деталі, спотворення її форми при вирубці. Крім того, в цьому випадку на матеріалі виникають утяжки, що утворюються на вільних поверхнях поблизу поверхні зрізу, які також спотворюють форму заготовки при вирубці.

При виборі зазору, крім якості поверхні зрізу, необхідно ще враховувати бажану стійкість інструменту, на яку істотно впливає зазор, а також вимоги, що пред'являються до параметрів точності штампованої деталі. Величина оптимального зазору залежить від механічних властивостей матеріалу заготовки, швидкості деформування, а також умов навантаження

поверхонь заготовки поблизу поверхні зрізу і від розмірів і форми деталей (отвори). Звідси вибір раціональних зазорів між пуансоном і матрицею при вирубці (пробиванні) є багатофакторним завданням з кількома критеріями оптимізації.

При товщині металу від 0,3 до 20,0 мм (таблиця 5.3) оптимальний зазор змінюється в межах 5-12% від товщини листа (менші значення відносяться до меншої товщини, більші - до більшої). Відносні значення зазорів для різних випадків штампування, товщини листа та його міцності показані в таблицях 1.5 і 1.6.

Таблиця 1.5 – Типові величини односторонніх зазорів для різних випадків штампування за Романовським В.П.

Область застосування	Товщина матеріалу s , мм	Величина одностороннього зазору в % від s
Звичайна вирубка і пробивання сталі	до 0,2	0 (без зазору)
	0,3 - 3,0	3 - 6
	3 - 10	6 - 10
	10 - 23	10 - 15
Пробивання отворів з гладкими стінками	до 3	2 - 4
	3 - 10	4 - 6
	10 - 25	6 - 8
Вирубка і пробивка алюмінію	до 3	2 - 4
	3 - 10	4 - 6
Вирубка і пробивка нержавіючої сталі 1X18H9Ф1 і 1X18H9Т	до 3	0,02 - 0,04
	3 - 10	0,04 - 0,05

Таблиця 1.6 – Двосторонні зазори розділювальних штампів,% від товщини s матеріалу

s, мм	Метали при σ_b , МПа				Неметалеві матеріали	
	до 200	200-400	400-600	Понад 600 і загартовані до HRC 45-50	Фібра, текстоліт, гетинакс	Картон, папір, азбест
0,1-0,5	3-5	5-7	7-9	10-12	1-2	0,5-1
0,6-0,8	4-6	6-8	8-10	11-13	2-3	0,5-1
1,0-1,5	4-6	6-8	8-10	11-13	2-3	1-2
1,8-2,0	5-7	7-9	9-11	12-14	2-3	1-2
2,0-3,0	5-7	7-9	9-11	12-14	3-4	1-2
3,5-5,0	7-10	9-12	11-14	14-16	3-4	1-2
6,0-10	10-13	12-15	14-17	17-20	3-4	1-2
11-16	13-16	15-18	17-20	20-23	3-4	1-2

Експериментальні дані показують, що при визначенні оптимального технологічного зазору необхідно розрізняти перший і другий оптимальні зазори. Перший оптимальний зазор забезпечує отримання високоякісних деталей при високих силових і енергетичних витратах на поділ штампувало металу. При цьому стійкість штампів буде зниженою. Другий оптимальний зазор забезпечує отримання деталей хорошої якості при мінімальних або помірних силових і енергетичних витратах на поділ металу. При цьому стійкість штампового інструменту буде максимальною.

Оптимальний односторонній технологічний зазор в розділових операціях листового штампування для тонколистових матеріалів можна визначити за емпіричною формулою [1]

$$z_0 = 0.32K \cdot K_v \cdot s \cdot \sqrt{\sigma_{зр}}$$

де z_0 - односторонній зазор; K - коефіцієнт, що визначає вид оптимального зазору (перший або другий оптимальний зазор); K_v - коефіцієнт, що враховує вплив швидкості деформування; s - товщина металу; $\sigma_{зр}$ - опір зрізу, МПа.

Для отримання високоякісних деталей з тонколистових матеріалів при визначенні першого оптимального зазору $K = 0,005$. При визначенні другого оптимального зазору слід враховувати, що коефіцієнт K різний для кожного матеріалу. Так, для міді $K = 0,015$, для латуні Л63М $K = 0,022$.

Значення коефіцієнта K_v залежить від швидкості деформування і від матеріалу. Так, при швидкості деформування меншій за 10 см/с для різних матеріалів $K_v = 1,0$; при швидкості деформування від 10 до 30 см/с коефіцієнт K_v у кожного матеріалу свій: для міді М3 ($s = 1,85$ мм) $K_v = 1,02$, а для латуні Л63М ($s = 1,5$ мм) $K_v = 1,07$.

Таблиця 1.7 – Величини початкових зазорів при виготовленні вирубних і пробивних штамів (зазори діаметральні або двосторонні), в мм

Товщина матеріалу, в мм	початковий зазор		товщина матеріалу, в мм	початковий зазор	
	найменший	найбільший		найменший	найбільший
1	2	3	4	5	6
0,5	0,03	0,06	6	0,8	1,0
0,8	0,05	0,08	7	1,0	1,3
1,0	0,06	0,10	8	1,3	1,6
1,2	0,08	0,12	9	1,5	1,8
1,5	0,10	0,16	10	1,8	2,2
1,8	0,12	0,2	11	2,1	2,5
2,0	0,14	0,22	12	2,4	2,7
2,2	0,17	0,25	13	2,7	3,0
2,5	0,20	0,28	14	3,0	3,4

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5	6
2,8	0,22	0,32	15	3,3	3,7
3,0	0,24	0,36	16	3,6	4,0
3,5	0,32	0,46	17	3,9	4,4
4,0	0,40	0,56	18	4,2	4,7
4,5	0,50	0,68	19	4,5	5,0
5	0,6	0,8	20	4,9	5,4

Примітки:

1. Найменші початкові зазори приймаються номінальними. Найбільші початкові зазори враховують збільшення їх за рахунок допусків на виготовлення пуансона і матриці

2. При пробиванні отворів з гладкими стінками в матеріалі товщиною до 5 мм зазори брати за нижньою межею, зазначеною в цій таблиці, для більш товстих матеріалів – згідно з таблицею 1.6.

1.3.4. Точність і якість поверхні зрізу при вирубці і пробиванні

Оскільки розвиток тріщин на деталі "Втулка" розпочинається з торцьової поверхні циліндричної частини, то велике значення має якість поверхні зрізу, оскільки наявність попередніх пошкоджень призводить до пришвидшеного розвитку мікротріщин і їх перетворення в макротріщину.

Точність при вирубці по зовнішньому контуру і пробиванні отворів залежить [4]:

- від конфігурації і розміру вирубуваних деталей;
- конфігурації і розміру, що пробивається отвори;
- товщини матеріалу заготовки;
- властивостей і стану матеріалу;
- анізотропії матеріалу;
- точності виготовлення робочих, які фіксують і напрямних деталей

штампа.

Для вирубкі деталей звичайної точності, величина допусків на виготовлення робочих частин штампа приймається за 7-9 квалітетом точності.

В результаті нерівномірних напружень в матеріалі штампованої деталі, останні виходять не плоскими, а опуклими в сторону матриці. Цей дефект частково усувається застосуванням в штампі притиску.

В результаті анізотропії властивостей листового матеріалу уздовж і поперек напрямку прокату, геометрична форма вирубаної деталі спотворюється. Особливо це проявляється при штампуванні великогабаритних деталей. При цьому, при вирубці деталей з відпалених листів, форма спотворюється менше, ніж при вирубці з наклепаного металу.

В результаті пружних деформацій, що виникають в деталі при штампуванні, розміри відштампованої деталі відрізняються від фактичних розмірів матриці, а після пробивання розміри отворів відрізняються від розмірів робочої частини пуансонів. Величина пружних деформацій залежить:

- від зазору між пуансоном і матрицею - зі збільшенням зазору розміри вирубаної деталі зменшуються, а розміри пробитого отвору збільшуються, і навпаки;
- властивостей матеріалу заготовки - чим більш пластичний матеріал, тим менші абсолютні значення пружних деформацій і більші абсолютні значення залишкових деформацій;
- лінійних розмірів штампованої деталі – при збільшенні лінійних розмірів деталі, абсолютні значення пружних деформацій зростають;
- розташування отворів при пробиванні їх в попередньо вирубаній заготовці; якщо отвори розташовані від краю заготовки на відстані менше двох-трьох товщин матеріалу, контур деталі і отвори будуть спотворені;
- товщини матеріалу – зі збільшенням товщини, при всіх інших рівних умовах, максимальні значення пружних деформації зменшуються, а залишкові значення збільшуються.

Точність розмірів штампованих виробів при вирубці і пробиванні забезпечується правильним призначенням допусків на виготовлення робочих частин інструменту з урахуванням перерахованих вище факторів і точністю виготовлення інструменту.

До похибок форми деталей, що вирубуються, слід віднести похибку профілю поверхні зрізу.

Поверхня зрізу при товщині більше 1 мм має наступні чітко виражені області: закруглення, блискучий поясок і зону сколювання.

Профіль вирубанної деталі з матеріалу товщиною s при нормальному зазорі показаний на рисунку 1.7. Найбільший розмір деталі d_M відповідає розміру матриці, найменший розмір d_m – розміру пуансона. По контуру зрізу деталі збоку утворюється закруглення висотою h_y , особливо помітне на товстих матеріалах. Висота утяжки h_y залежить від зусилля вирубки, форми вирубаного контуру і зазору між пуансоном і матрицею. Висота блискучої смужки - h_{II} . Шорсткість його поверхні становить 1,6-10 мкм. Шорсткість поверхні частини деталі на висоті h_c , що відокремилася в результаті руйнування матеріалу, – 20-40 мкм. Кут відколу α при нормальному зазорі збільшується зі зменшенням товщини металу, і зменшується зі збільшенням напруження зрізу $\sigma_{зр}$. Висота задирки h_3 .

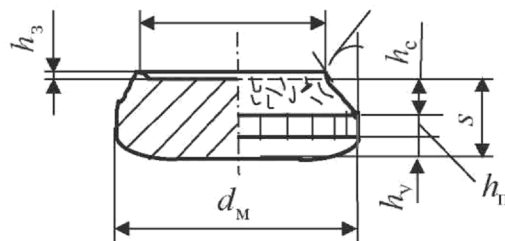


Рисунок 1.7 – Профіль вирубанної деталі

При впровадженні пуансона в полосу, метал розтягується і в місці зазору в ньому утворюється зміцнена зона. Опір зміцненої зони утворенню тріщин призводить до того, що навіть при гострих ріжучих кромках метал

руйнується не по ріжучим кромкам, а на деякій відстані від них. Частина зміцненої зони залишається у вигляді задирок. Висота задирки h_z збільшується в міру затуплення ріжучих крайок і збільшення зазорів між пуансоном і матрицею. При затупленому пуансоні утворення задирки відбувається на вирубаній деталі. Форма поверхні зрізу на відході (в смужці) після вирубки має вигляд, зворотний виду вирубаного деталі: з боку пуансона утворюється закруглення, а з боку матриці - гостра кромка. При затупленій матриці, на відході навколо отвору утворюється задирок.

При вирубці тупими пуансоном і матрицею, задирок утворюється як на деталі, так і на відході. По висоті задирки судять про ступінь зносу пуансона і матриці, а також про якість вирубаних деталей. На висоту задирки h_z впливає і конструкція матриці. При вирубці в матриці з циліндричним провальним вікном, висота задирки менше, ніж при вирубці в матриці з конічним провальним вікном.

1.3.4. Основні види браку при вирубці і пробиванні

При вирубці і пробиванні на поверхні зрізу штампованої деталі виходять задирки або нерівний (рваний) зріз, розподілений нерівномірно по всій поверхні [5]. Причини такого браку:

- ріжучі кромки пуансона і матриці в результаті зносу затупились;
- робочі кромки матриці з циліндричною смужкою мають конус з боку входу пуансона в матрицю (зворотний конус у робочій частині матриці);
- зазор між пуансоном і матрицею більше або менше оптимального для даної марки і товщини штампованого матеріалу.

Тривалість збереження гостроти різальних крайок у пуансона і матриці при всіх рівних умовах залежить від правильного призначення їх твердості для отримання під час термообробки. Твердість у пуансона і матриці повинна бути різною. При вирубці твердість матриці більше твердості пуансона на 2-4 одиниці по Роквеллу (шкала С), а при пробиванні твердість пуансона

повинна бути більше твердості матриці на 4-6 одиниць по Роквеллу (шкала

Затуплення різальних крайок пуансона і матриці, крім задирок, викликає спотворення геометричних розмірів вирубуваних деталей. Після виходу з матриці, деталь розпрямляється і її розміри стають більше розмірів отвору матриці (для деталей з габаритними розмірами більше 200 мм це збільшення може досягати 0,2-0,25 мм). Усунути описаний дефект можна своєчасним заточуванням різальних кромки пуансона і матриці. При заточуванні необхідно звертати увагу на стан робочих поверхонь. Якщо на поверхні пуансона або матриці є поздовжні ризики, встановлювати такий інструмент не слід, оскільки робочі кромки будуть швидко зношуватися, а деталі, що штампуються, будуть мати рвані краї.

Прийнято вважати заточку ріжучих кромки незадовільною, якщо при розгляді робочих поверхонь пуансона і матриці, через лупу з 10-кратним збільшенням, рисок, подряпин і нерівностей на 1 мм² буде більше 20.

Неправильний вибір зазору між пуансоном і матрицею веде до появи рівномірно розподілених по поверхні зрізу задирок. При великому зазорі деталь на поверхні, зверненої в бік матриці, отримує значний вигин, а по краях поверхні, зверненої до пуансона, з'являється рваний і продовжуватий задирок. При недостатньому зазорі поверхня зрізу на деталі замість однієї блискучої полоси має дві: одну зверху, а іншу знизу зі значними напливами. За кромкою поверхні, оберненої до пуансона, з'являється рваний задирок з невеликим розширенням догори. Недостатній зазор – одна з причин зменшення часу стійкості штампа до заточування. В силу недостатньої величини зазору, між пуансоном і матрицею часто відбувається руйнування (розрив) матриці при роботі на пресі.

Задирки можуть бути розподілені по поверхні зрізу нерівномірно (односторонні задирки). Причиною браку є неправильний розподіл зазору між пуансоном і матрицею. Це відбувається у випадках зміщення пуансона по відношенню до ріжучих крайок матриці в процесі роботи, непаралельності

поверхні столу преса або підштампової плити нижньої поверхні повзуна преса, а також в разі, коли матриця не паралельна верхній частині штампа; хвостовик штампа, а якщо його немає, то верхня частина штампа закріплені неправильно, тобто центр тиску штампа і вісь повзуна преса не збігаються.

Зсув пуансона по відношенню до ріжучих крайок матриці під час роботи штампа відбувається в наступних випадках:

- при затупленні однієї з різальних кромок матриці раніше інших у затупленого краю виникають підвищені бічні зусилля;
- «Пружиненні» і вигині пуансонів дрібних розмірів, що може відбуватися при неоднорідній заточці різальних кромок;
- нерівномірному розподілі зусилля по периметру зрізу;
- нерівномірному зносі напрямних колонок штампа;
- пружної деформації станини преса в процесі вирубки або прорізування, що викликає перекис осей пуансона і матриці, особливо в разі штампування заготовок значної товщини;
- неправильному виготовленні деталей штампів.

Неправильна форма вирубанної деталі може виникнути в силу наступних причин:

- заправки полоси в багаторазовий штамп без використання попереднього упору;
- навскіс обрізаних залишків полоси, що надходить на вирубку;
- зношування напрямних в штампі;
- використання занадто вузької або занадто широкої полоси;
- вигину полоси в процесі вирубки або прорізування;
- індивідуальної установки штампа щодо механізму подачі;
- наявності опуклого торця на пуансоні після заточування;
- недоведення полоси до упору при ручній подачі.

1.4. Формувальна операція

Для визначення розмірів заготовки при витягуванні пустотілих тіл існує п'ять основних методів: три аналітичні та два графічні методи. Для встановлення розмірів заготовки, яку потрібно вирубати на першій операції, використаємо метод рівної ваги, який полягає в припущенні про постійну вагу заготовки і готового виробу G' . Для цього методу діаметр заготовки визначають

$$D = \sqrt{\frac{1,28G'}{s\gamma}} = 1,128 \sqrt{\frac{G}{s\gamma}}, \quad (1.1)$$

де γ – щільність матеріалу заготовки; s – товщина матеріалу.

Відповідно до виразу (1.1) та на основі вимірювання об'єму та маси деталі в програмі "Компас 3D" визначимо діаметр суцільної заготовки та зведемо у таблицю 1.8 з урахуванням наявності центрального отвору діаметром 39,6 мм.

Таблиці 1.8 – Внутрішні та зовнішні розміри заготовки визначені методом рівної ваги [2]

Внутрішній діаметр, мм	10	15	20	25	30	35
Зовнішній діаметр, мм	59	60	62	63	65	67,9

В роботі [2] зазначено, що під час моделювання для деяких комбінацій геометричних параметрів деталі не формувались в силу різних причин. Тому будемо застосовувати діапазон параметрів зазначених в [2].

Для зменшення пошкодженості та забезпечення формоутворення на операції 015 доцільно обирати внутрішній діаметр заготовки 29-30 мм, а

зовнішній – 62-63 мм. За умови застосування радіусів заокруглення пуансона в межах 4-7 мм можна зменшити рівень пошкодженості, а застосування якомога більших зазорів (до 3 мм) забезпечує отримання необхідної форми деталі.

1.5 Постановка задачі

Таким чином, в зв'язку з вище викладеним, поява значної кількості браку першопричиною має проблеми, що закладаються під час розділювальної операції та проявляються під час формувальної. Для зменшення кількості браку доцільним є визначення параметрів матриці, пуансона та заготовки, які дозволять отримати мінімальні пошкодження та потоншення на циліндричній частині деталі "Втулка" з урахуванням коливання товщини листа, уточнення розмірів матриці і пуансона та зміною зазорів на розділювальній операції, а також відхиленням від співвісності матриці і пуансона на формувальній операції, що має привести до зменшення кількості браку під час виготовлення деталі "Втулка".

РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ ВИРУБУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПОШКОДЖЕНІСТЬ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА"

2.1 Встановлення геометричних параметрів робочої частини вирубного штампа

В таблицях 2.1 і 2.2 [7] вказані рекомендовані кількості переходів для простих вісесиметричних заготовок з фланцем і без фланцю для сталі 08.

Таблиця 2.1 – Кількість операцій витягування для пустотілих гладких циліндричних деталей з сталі 08кп

Відношення висоти до діаметру циліндра h/d	0,6	1,4	2,5	4	7	12
Число операцій витягування (наближено)	1	2	3	4	5	6

Таблиця 2.2 – Кількість операцій витягування для пустотілих гладких циліндричних деталей з фланцем з сталі 08кп

Відношення діаметра фланця до діаметра циліндра D_f/d	Відношення висоти до діаметра циліндра h/d		
	0,5	1	2
	Число операцій витягування (наближено)		
1,5	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

З таблиць 2.1 та 2.2 слідує, що з заготовки діаметром 62 мм, товщиною 2 мм, можна отримати деталь "Втулка" з необхідними вимогами, а саме з

діаметром циліндричної частини 40 мм. З іншого боку за даними [7] коефіцієнт витяжки $m_1 = 0.68$ (коефіцієнт m_1 визначає граничне співвідношення між діаметром заготовки та середнім діаметром циліндра, який можна отримати шляхом витягування), що означає, що із заготовки діаметром 62 мм можна отримати за одну операцію циліндр з середнім діаметром $0,68 \cdot 62 = 42,12$ мм. З урахуванням того, що властивості матеріалу мають розбіжність в певних межах - це дуже близько до граничного значення. З чого випливає необхідність отримання на розділювальній операції заготовки з мінімально пошкодженою внутрішньою частиною з якої формуватиметься циліндрична ділянка деталі "Втулка". Відтак, під час вибору конструктивних параметрів матриці і пуансона орієнтуватимемося на таку комбінацію їх геометричних характеристик, які забезпечуватимуть мінімальну ширину зони пластичної деформації під час процесу вирубування. З урахуванням пункту 1.4 діапазон зміни діаметра вирубного пуансона становить 29-30 мм.

Оскільки операція вирубування є не остаточною, і, на ній отримуємо плоску заготовку для наступної формувальної операції 015 можна прийняти, що робочі поверхні матриці і пуансона на вирубній операції 010 мають циліндричну форму. З чого слідує, що розмір матриці визначатиметься відносно розміру вирубного пуансону з урахуванням зазору Z , тобто

$$d_m = d_n + 2 \cdot Z \text{ (мм)}.$$

2.2 Розробка моделі вирубування та параметри необхідні для роботи програми «Deform-3D»

В розділі 1 нами встановлено, що основними параметрами, які впливають на процес вирубування, а саме на ширину зони пластичної деформації та якість поверхні зрізу є: товщина листа, діаметр вирубного

пуансону, величина зазору між пуансоном і матрицею, осьове зміщення пуансону відносно матриці. Відповідно до вимог технологічного процесу лист заготовки - Лист ВТ-2,0 ГОСТ 19904-90/3-II-ВГ-08кп ГОСТ 9045-93. Згідно ГОСТ 19904-90 товщина листа точності ВТ (високої точності) для дуже глибокого витягування коливається в межах $2 \pm 0,08$ мм. З пункту 1.4 випливає, що діаметр вирубного пуансона має знаходитись в межах 29-30 мм, а з таблиці 1.7 слідує, що величина зазору Z в діаметральному вираженні має бути в межах $0,14 - 0,22$ мм. З вказаного діапазону зміни значень зазору можна зробити висновок, що, за умови нормальної точності виготовлення вирубного штампу, максимальна неспіввісність матриці і пуансону становитиме $0,6 \cdot 0,22 = 0,13$ мм, що суттєво менше від величин зазору, товщини листа. Через це для операції вирубання неспіввісністю пуансона і матриці знехтуємо.

Для досягнення мінімальної кількості браку, в процесі виготовлення деталі "Втулка", необхідно вибрати такі параметри операції вирубання за яких ширина зони пластичної деформації буде мінімальною. В якості критерію досягнення початку пластичної деформації приймемо величину максимального напруження зсуву. Для сталі 08кп воно становить приблизно 175 МПа. Таким чином, ділянки, в яких максимальні напруження зсуву перевищують 175 МПа вважатимуться пластично деформованими.

Ще однією умовою зменшення кількості браку є забезпечення мінімального потоншення циліндричної частини деталі "Втулка" в процесі формувальної операції незалежно від дійсної товщини листа та неспіввісності формувальних матриці і пуансона.

З метою проведення імітаційних розрахунків в прикладній програмі Deform 3D була побудована модель взаємодії листової заготовки та вирубних матриці і пуансона (рисунок 2.1). Для запобігання гороутворення на заготовці, у відповідності з кресленням вирубного штампу, передбачений притискач.

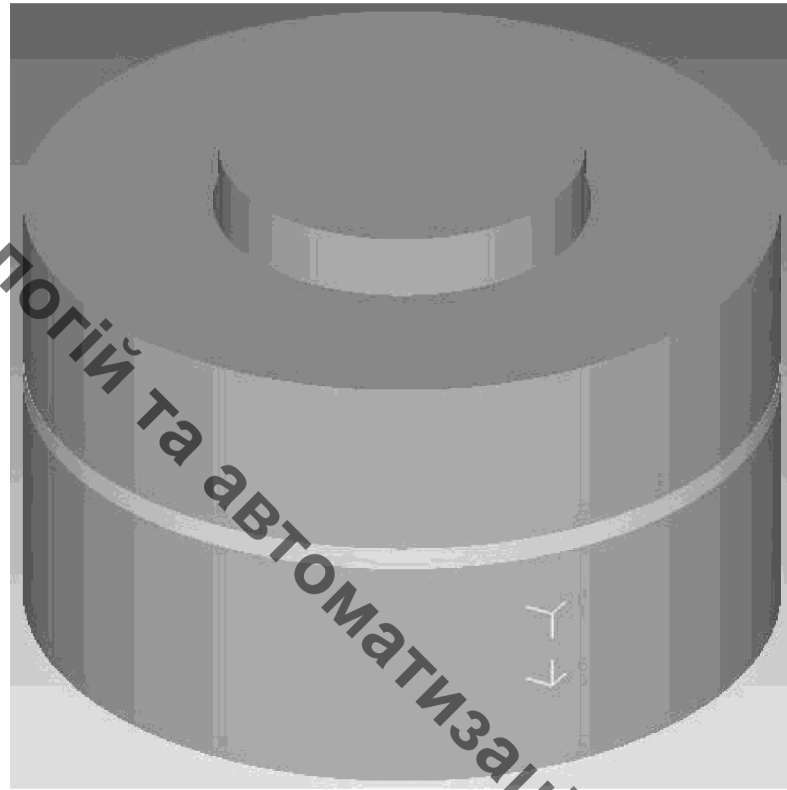


Рисунок 2.1 – Об'ємна спрощена модель вирубного штампа в програмі Deform 3D

В процесі створення імітаційної моделі прийнято допущення, що коефіцієнт тертя між листовою заготовкою і поверхнями матриці, пуансона і притискача є величиною постійною і рівною 0,2. Величина переміщення вирубного пуансона - 6 мм, що цілком достатньо для цієї розділювальної операції.

Оскільки матеріал матриці і пуансона за міцністю суттєво перевищує матеріал листової заготовки, то в розрахунках приймалось, що матриця, пуансон і притискач є абсолютно жорсткими тілами.

В результаті імітаційного моделювання отримуємо розподіл пошкоджень та деформацій по об'єму заготовки на різних стадіях процесу (рисунки 2.2, 2.3 і 2.4).

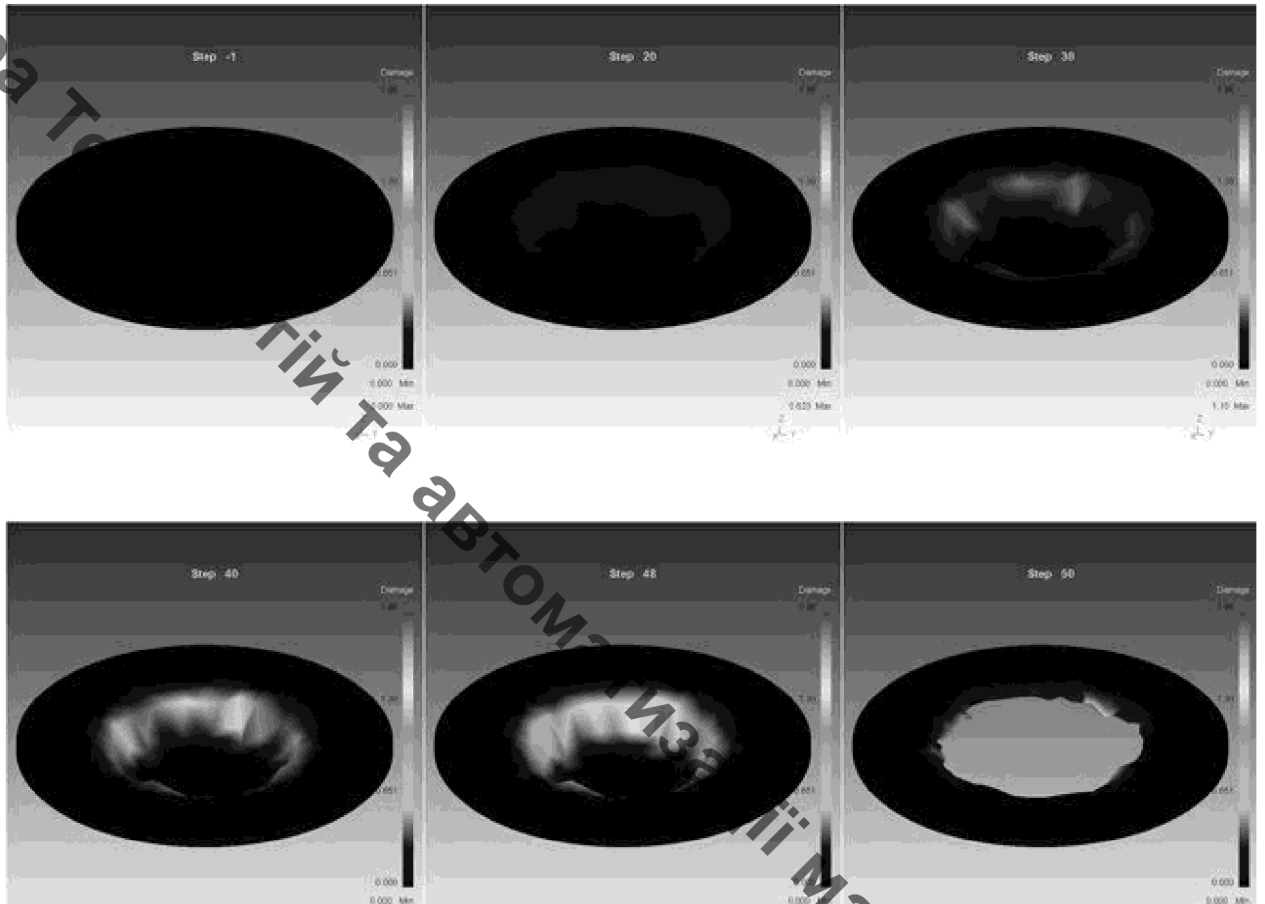


Рисунок 2.2 – Процес вирубання заготовки з зображенням розподілу пошкоджень

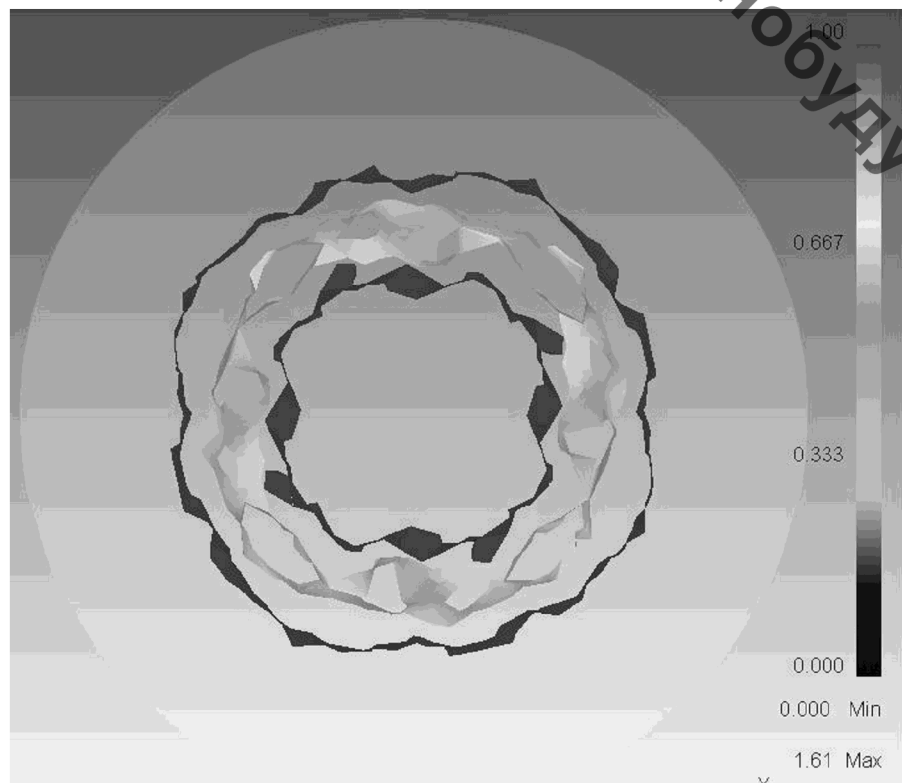


Рисунок 2.3 – Ізолінії пошкоджень на листовій заготовці

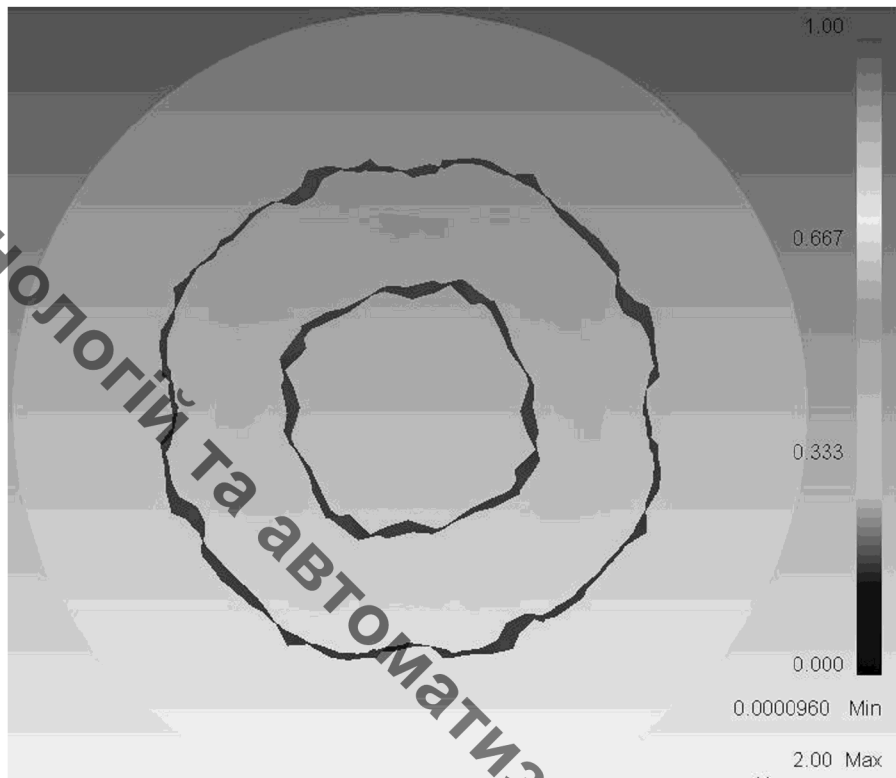


Рисунок 2.4 – Ізолінії еквівалентної деформації по Мізесу

Вимірювання відстаней між ізолініями відбувалось за допомогою вбудованого інструменту програми Deform 3D – лінійки.

2.3. Експериментальні дослідження

2.3.1 Результати імітаційних експериментів та їх обробка

Як зазначалось раніше, основними факторами, які мають вплив на ширину зони пластичної деформації під час вирубування заготовки деталі "Втулка" є діаметр пуансона d_p , товщина листа s , зазор між пуансоном та матрицею Z . Всі вибрані фактори відповідають вимогам керованості, незалежності і сумісності по відношенню один до одного.

Вибрані фактори d_p , s , Z відповідно позначено через x_1 , x_2 , x_3 та встановлено рівні зміни факторів (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Рівні факторів

Рівні факторів	d_3 , мм	s , мм	Z , мм
	x_1	x_3	x_2
Основний	29.5	2	0.18
Інтервал варіювання	1	0,16	0.08
Верхній	30	2.08	0.22
Нижній	29	1.92	0.14

Кодування факторів здійснювалось за виразом

$$x_i = (x_i - x_{i0}) / \Delta x_i,$$

де x_i – кодове значення i -го фактора; x_i – натуральне значення i -го фактора; x_{i0} – початковий (основний) рівень фактора; Δx_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Тут $x_{i\max}$ і $x_{i\min}$ – поточні значення верхнього і нижнього рівнів факторів.

Кодовані значення факторів наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Кодовані значення факторів

Рівні факторів	Кодове позначення	$d_{п}$, мм	s , мм	Z , мм
		x_1	x_2	x_3
Основний	0	29.5	2	0.18
Інтервал варіювання	не позначається	1	0,16	0.08
Верхній	+	30	2.08	0.22
Нижній	-	29	1.92	0.14

Оцінка впливу обраних факторів на параметр оптимізації здійснювалась на основі моделі описаної поліном першого ступеня

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + \dots + b_{12\dots k} x_1 x_2 \dots x_k. \quad (2.1)$$

Для проведення експерименту використано стандарту матрицю планування трьохфакторного експерименту (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Матриця планування експерименту

Номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
1	+	-	-	-	+	+	+	-
2	+	+	-	-	-	-	+	+
3	+	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	+	-	+	-	-	-
5	+	-	-	+	+	-	-	+
6	+	+	-	+	-	+	-	-
7	+	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+	+

В матрицю введений стовпець ефективної змінної x_0 , яка у всіх випадках приймає тільки значення «+» і використовується для розрахунку вільного члена b_0 . Стовпці подвійної і потрійної взаємодії призначені для розрахунку відповідних коефіцієнтів рівняння (2.1).

Проведення розрахунків здійснювалось у відповідності з матрицею планування (таблиця 2.5) при відповідних комбінаціях факторів на верхньому (+) або нижньому (-) рівні.

Для визначення ширини зони пластичної деформації вимірювання проводилось три рази при незмінних режимах. Результати імітаційного моделювання показані в таблиці 2.6.

Визначали середнє арифметичне значення параметра оптимізації для кожної стрічки матриці визначено за формулою

$$\bar{y}_j = \sum_u^r y_{ju} / r, \quad (2.2)$$

де r – число паралельних дослідів; u – номер паралельного дослідів;
 y_{uj} – значення параметра оптимізації в u -му паралельному досліді j -ої
 стрічки матриці.

Таблиця 2.6 – Ширина зони пластичної деформації матеріалу деталі
 "Втулка" при різних параметрах процесу вирубання (діаметр пуансону –
 29-30 мм, товщина листа заготовки – 1,92-2,08 мм, зазор – 0,14-0,22 мм)

№ п/п	Діаметр пуансона, мм	Товщина листа, мм	Зазор між матрицею і пуансоном, мм	Ширина зони пошкоджень до 0,1 в діаметральному вираженні	Ширина зони пошкоджень з урахуванням діаметру пуансона, мм
1	2	3	4	5	6
1	29,0	1,92	0,14	34,6	5,6
2	29,2	1,92	0,14	36,64	7,44
3	29,4	1,92	0,14	36,62	7,22
4	29,6	1,92	0,14	36,64	7,04
5	29,8	1,92	0,14	37,52	7,72
6	30	1,92	0,14	36,9	6,9
6*	29,5	1,92	0,14	37,82	8,32
7	29,5	1,96	0,14	38,12	8,62
8	29,5	2,0	0,14	38,99	9,49
9	29,5	2,04	0,14	37,13	7,63
10	29,5	2,08	0,14	37,33	7,83
11	29,5	2	0,16	39,38	9,88
12	29,5	2	0,18	38,99	9,49
13	29,5	2	0,2	39,38	9,88
14	29,5	2	0,22	38,8	9,3
15	29,5	2	0,14	40,17	7,25

Продовження таблиці 2.6

Результати моделювання за матрицею планування експериментів (таблиця 2.5)					
1	2	3	4	5	6
16	29	1,92	0,14	36,25	10,67
17	30	1,92	0,14	36,9	7,25
18	29	2,08	0,22	37,9	6,9
19	30	1,92	0,22	38,11	8,9
20	29	2,08	0,14	37,04	8,11
21	30	2,08	0,14	37,72	8,04
22	29	2,08	0,22	37,23	7,72
23	30	2,08	0,22	37,92	8,23
Перевірка нульової гіпотези					
24	29,5	2	0,18	1) 38,99 2) 38,78 3) 38,8 4) 38,77 5) 39,02 6) 39,05	1) 9,49 2) 9,28 3) 9,3 4) 9,27 5) 9,52 6) 9,55

Для оцінки відхилень параметра оптимізації від середнього його значення обчислено дисперсію паралельних дослідів

$$S_j^2 = \sum_{u=1}^r (y_{ju} - \bar{y}_j)^2 / (r-1). \quad (2.3)$$

Однорідність дисперсії паралельних дослідів перевірено по G -критерію Кохрена

$$G_p = S_{j_{\max}}^2 / \sum_{j=1}^N S_j^2. \quad (2.4)$$

Гіпотеза про однорідність дисперсії підтверджується, якщо розрахункове значення критерію не перевищує табличного. Розрахункове значення критерію порівняне з табличним для ступенів свободи чисельника $f_1 = r - 1 = 3 - 1 = 2$ і знаменника $f_2 = N = 8$. Оскільки $G_{\text{табл}} = 0,5157 > G_p = 0,22$, то гіпотеза про однорідність паралельних дослідів приймається.

Визначено дисперсію відтворюваності за виразом

$$S^2(y) = \sum_{j=1}^N S_j^2 / N = 0,36/8 = 0,04. \quad (2.5)$$

Помилка експерименту розраховується

$$S(y) = \sqrt{S^2(y)} = 0,21. \quad (2.6)$$

В результаті проведених розрахунків для лінійного поліному отримали члени регресії обчислено за формулами

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N \bar{y}_j}{N} = 7,88, \quad b_1 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{1j} \bar{y}_j}{N} = 0,22, \quad b_2 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{2j} \bar{y}_j}{N} = -0,41,$$

$$b_3 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{3j} \bar{y}_j}{N} = -0,09, \quad b_{12} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{1j} x_{2j} \bar{y}_j}{N} = -0,05, \quad b_{13} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{1j} x_{3j} \bar{y}_j}{N} = 0,06,$$

$$b_{23} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{2j} x_{3j} \bar{y}_j}{N} = -0,31, \quad b_{123} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{1j} x_{2j} x_{3j} \bar{y}_j}{N} = -0,06.$$

Після розрахунку всіх коефіцієнтів і їх підстановки в рівняння (2.1) отримано

$$\hat{y} = 7,88 + 0,22x_1 - 0,41x_2 - 0,09x_3 - 0,05x_1x_2 + 0,06x_1x_3 - \quad (2.7)$$

$$0,31x_2x_3 - 0,06x_1x_2x_3.$$

Перевірка значущості коефіцієнтів за критерієм Стьюдента (для даної моделі рівній 2,12) дозволило відкинути незначущі елементи моделі.

Відкидаючи статистично незначущі коефіцієнти, рівняння (2.7) набуло вигляду

$$\hat{y} = 7,88 + 0,22x_1 - 0,41x_2 - 0,31x_2x_3. \quad (2.8)$$

Перевірка на адекватність по критерію Фішера показала, що модель адекватна, оскільки

$$F_p \leq F_{табл} \quad (2.9)$$

де $F_p = \frac{S_{ад}^2}{S^2(y)}$, $S_{ад}^2 = r \sum_{j=1}^N \frac{(\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2}{N-\lambda}$; λ – число значимих коефіцієнтів рівняння; \bar{y}_j – середнє арифметичне значення параметра оптимізації в j -му досліді; \hat{y}_j – значення параметра оптимізації, яке обчислене по моделі для умов j -го досліду (по рівнянню 2.8 і матриці планування експерименту таблиця 2.5).

Дисперсія адекватності становить – 0,11, а розрахунковий критерій Фішера – 0,75. Граничне значення критерію Фішера для заданих умов становить 4,49. Оскільки розрахунковий критерій Фішера менший від табличного, тобто модель адекватна.

2.3.2 Аналіз результатів імітаційних досліджень вирубки деталі

З рівняння (2.8) слідує, що параметр z , а саме зазор між матрицею і пуансоном практично не впливає (незначно впливає) на ширину зони істотних пошкоджень в процесі вирубкування заготовки для операції 015. Побудуємо залежності на основі таблиці 2.6 та рівняння (2.9) (рисунок 2.1, 2.2).

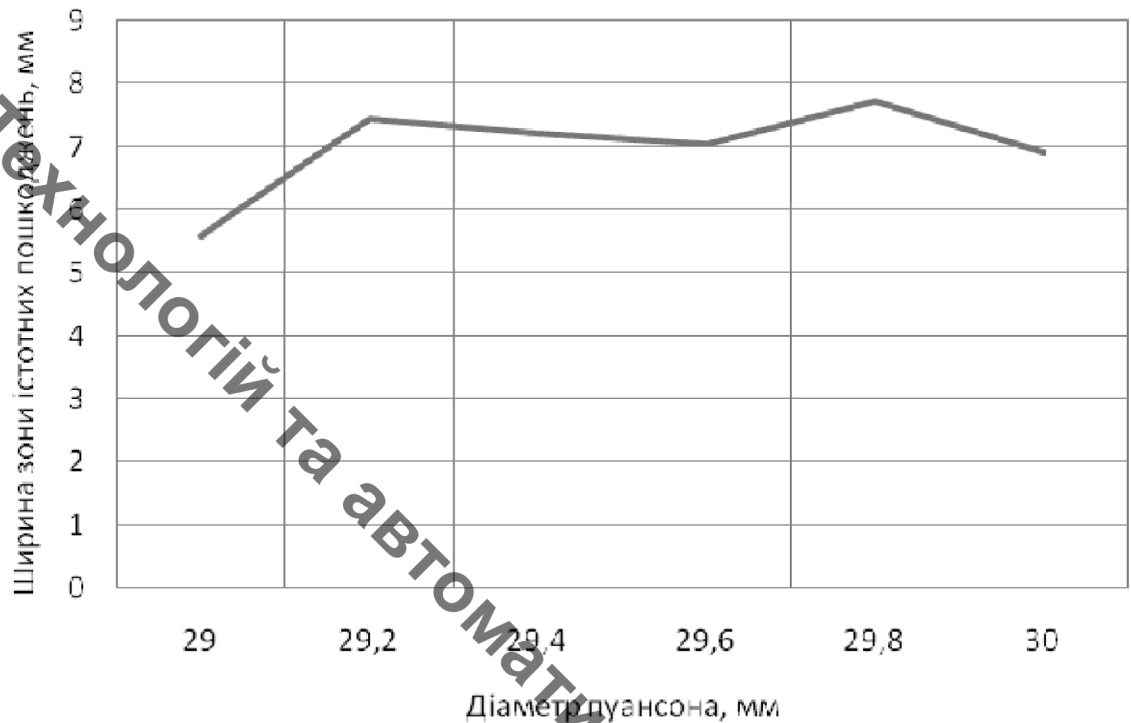


Рисунок 2.1 – Залежність ширини зони істотних пошкоджень від діаметра вирубного пуансона

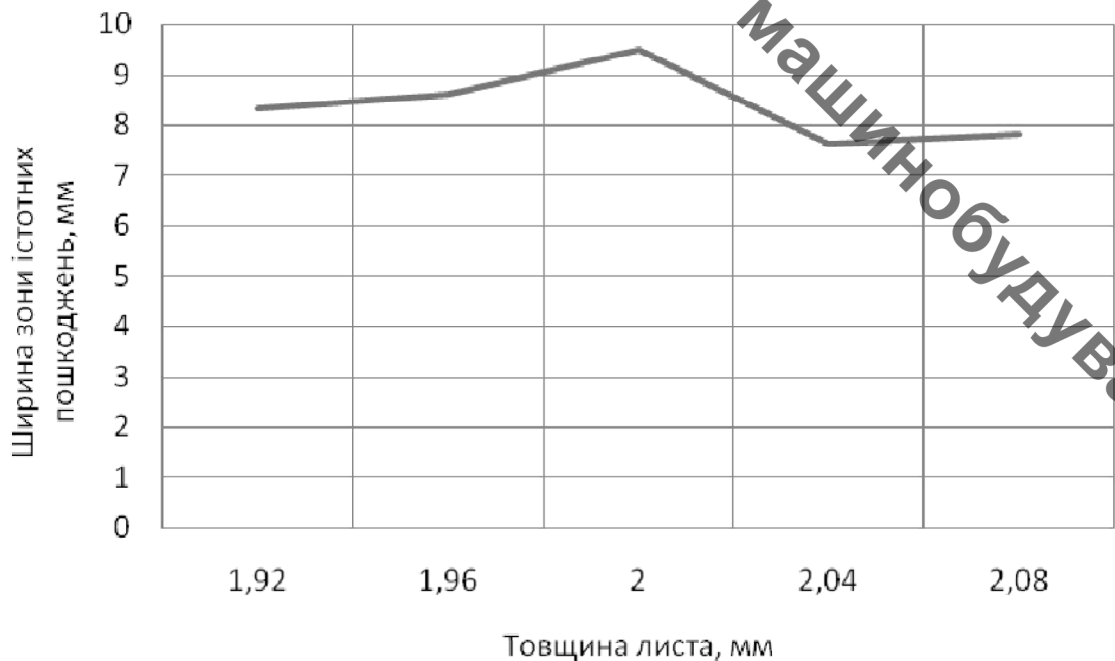


Рисунок 2.2 – Залежність ширини зони істотних пошкоджень від товщини листа

Як слідує з рисунка 2.1, збільшення діаметра вирубного пуансона призводить до поступового розширення зони істотних пошкоджень та

сприятиме поширенню тріщин в деталі "Втулка". Відтак рекомендоване значення розмірів отвору і вирубного пуансону - 29 мм.

З рисунка 2.2 видно, що збільшення товщини листа дещо зменшує ширину зони істотних пошкоджень. Але, оскільки безпосереднього впливу на товщину листа немає, то розглянемо варіант, який дозволить зменшити пошкодження на формувальній операції та встановимо діапазон розсіювання товщини стінки циліндричної частини, де нарізатиметься різь.

2.4 Вплив товщини листа на пошкодження та товщину стінки циліндричної частини після формувальної операції

Для встановлення впливу параметрів формувальної операції на величину пошкоджень та товщину стінки розглянемо основні чинники, які впливають на процес накопичення пошкоджень та товщину стінки деталі в процесі витягування. Це, в першу чергу, геометричні параметри матриці і пуансона, товщина листа і неспіввісність матриці і пуансона.

На основі рекомендацій [2] приймемо радіус заокруглення формувального пуансону 5 мм, зазор між формувальною матрицею і пуансоном - 2,2 мм, діаметр формувального пуансона відповідатиме діаметру внутрішнього отвору деталі "Втулка", який необхідний для нарізання трубної різі $G 1\frac{1}{4}$. При цьому мінімальна товщина стінки, яка забезпечуватиме можливість нарізання різі становитиме 1,6 мм.

Розглянемо вплив товщини листа і неспіввісності на пошкодженість деталі "Втулка" та товщину стінки. Відповідно до ГОСТ 19904-90 та вимог технічної документації товщина листа коливатиметься в межах 1,92-2,08 мм. Величина відхилення від співвісності матриці і пуансона визначатиметься з точності механізму штампу. Приймемо, що відхилення від співвісності не може перевищувати 0,4 мм, оскільки при більших величинах товщина стінки буде недостатньою для нарізання різі.

Результати імітаційного моделювання з визначення впливу товщини листа і відхилення від співвісності представлені в таблиці 2.7. В процесі моделювання відхилення від співвісності вимірювання мінімальної товщини стінки та максимальної пошкодженості.

Таблиця 2.7 – Результати імітаційного дослідження пошкодженості і товщини стінки від товщини листа і відхилення від співвісності (діаметр пуансону - 39,6 мм, односторонній зазор між матрицею і пуансоном – 2,2 мм, радіус заокруглення пуансону – 5 мм)

№	Товщина листа, мм	Відхилення від співвісності, мм	Максимальна пошкодженість деталі	Товщина стінки, мм
1	2	3	4	5
Вплив товщини листа				
1	1,92	0	0,378	1,6
2	1,94	0	0,395	1,65
3	1,96	0	0,377	1,69
4	1,98	0	0,418	1,62
5	2	0	0,369	1,68
6	2,02	0	0,407	1,7
7	2,04	0	0,391	1,75
8	2,06	0	0,39	1,75
9	2,08	0	0,39	1,77
Вплив відхилення від співвісності				
10	2	0,05	0,386	1,67
11	2	0,1	0,391	1,69
12	2	0,15	0,386	1,64
13	2	0,2	0,38	1,62
14	2	0,25	0,395	1,59
15	2	0,3	0,39	1,58

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5
16	2	0,35	0,382	1,55
17	2	0,4	0,387	1,52

Дані, отримані в процесі імітаційного моделювання витяжної операції (таблиця 2.7) показують, що коливання товщини листа в межах, встановлених стандартом, не чинить якогось спрямованого впливу і залишає показник пошкодженості практично на одному рівні при цьому збільшуючи товщину стінки пропорційно до збільшення товщини листа (рисунок 2.3).

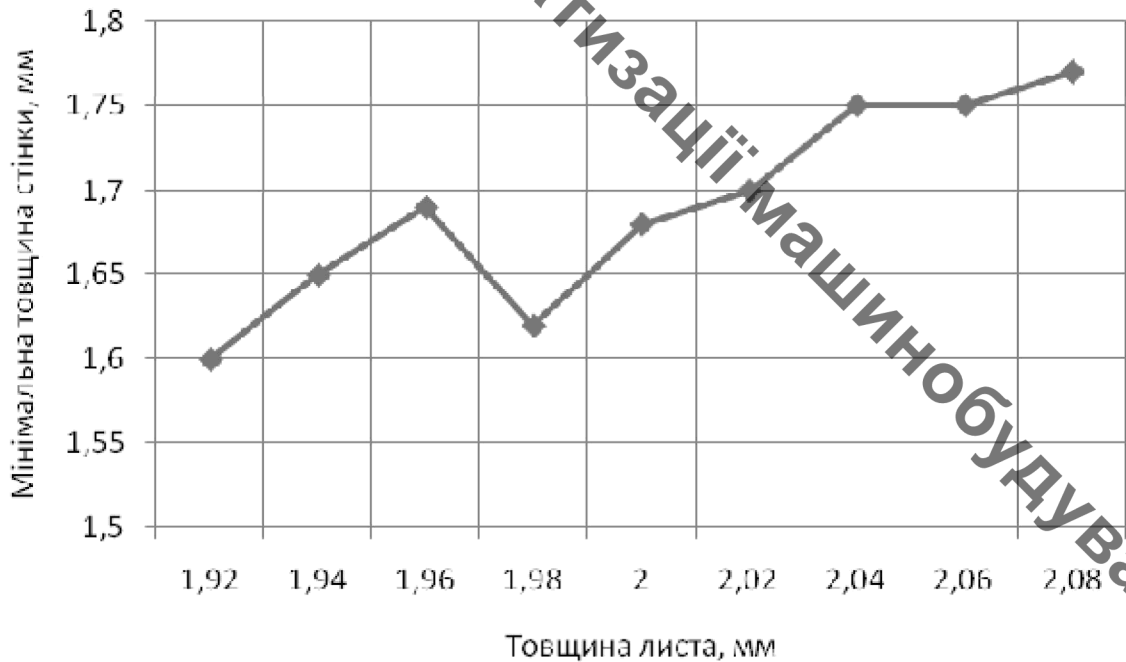


Рисунок 2.3 – Вплив товщини листа на мінімальну товщину стінки деталі "Втулка"

В той же час, збільшення відхилення від співвісності матриці і пуансона призводить до зменшення товщини стінки деталі "Втулка" та може призвести до появи браку. Оскільки мінімальна товщина стінки, яка дозволяє гарантовано отримувати різь 1,6 мм - це означає, що допустиме відхилення від співвісності матриці і пуансона повинно бути не більше 0,2 мм (рисунок

2.4). Крім того, виявлено, що відхилення від співвісності, в даному випадку, не впливає на рівень пошкодженості матеріалу деталі "Втулка".

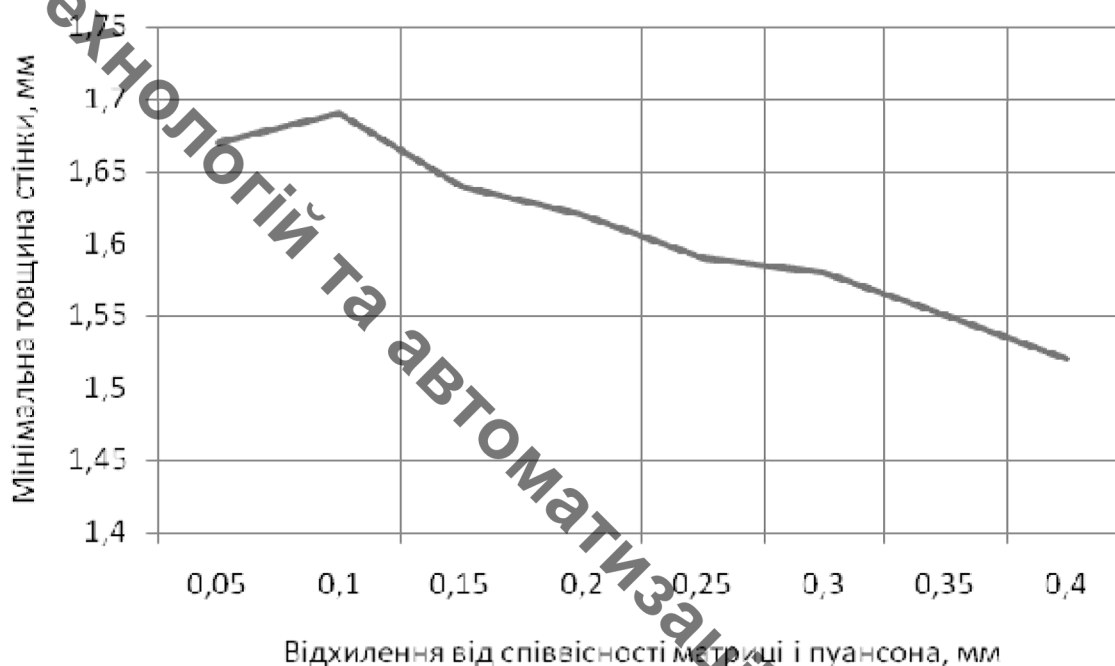


Рисунок 2.4 – Залежність мінімальної товщини стінки від неспіввісності матриці і пуансона

2.5 Визначення відсотку браку після двоопераційної обробки

В результаті імітаційного моделювання та встановлених обмежень отримано можливість виготовляти деталь "Втулка" без такого дефекту, як "Відсутність тіла при нарізанні різі". Тепер потрібно визначити кількість браку, внаслідок появи тріщин на циліндричній частині деталі "Втулка". Для цього, на основі того факту, що в процесі вирубкування отвору поверхні піддаються зрізу (чистий зсув) вони використовують ресурс пластичності матеріалу (пошкоджують матеріал). Величина використання цього ресурсу залежить від виду деформації та пластичності матеріалу заготовки. Оскільки, відповідно до стандарту фізико-механічні властивості матеріалу заготовки мають певне розсіювання (близько 30%), то і величина використання ресурсу пластичності теж буде змінюватись в залежності від матеріалу заготовки.

Прийmemo, що остаточний рівень пошкодженості матеріалу навколо внутрішнього отвору заготовки становитиме 0,5.

На основі [10,11] та інтенсивності деформацій в процесі витягування можна сказати, що розсіювання величини пошкодженості буде становити близько 0,4 ($\pm 0,2$). Відповідно до таблиці 2.7 середнє значення пошкодженості матеріалу заготовки, незалежно від реальної товщини листа та відхилення від співвісності (не більше 0,2 мм) становить 0,38. Таким чином, в процесі двоопераційної обробки можливі наступні рівні пошкодженості матеріалу заготовки:

мінімальний

$$0,5 + (0,38 - 0,2) = 0,68;$$

максимальний

$$0,5 + (0,38 + 0,2) = 1,08.$$

Тобто, максимальне значення пошкодженості перевищує одиницю, що означає появу тріщин, надривів тощо. Оскільки немає домінуючих факторів, що впливають на пластичність матеріалу, його міцність та рівень пошкодженості вважатимемо, що пошкодженість деталі в партії розподілиться за нормальним законом.

Відповідно до прийнятих допущень, розрахункова кількість браку для заводської деталі "Втулка" за модернізованим варіантом визначатиметься виразом (математичне очікування – 0,88, середньоквадратичне відхилення – 0,067)

$$P_{\text{браку}} = \Phi((1,08 - 0,88)/0,067) - \Phi((1 - 0,88)/0,067) = 0,49865 - 0,4641 = 0,034.$$

Таким чином, в покращеному технологічному процесі очікувана кількість браку пов'язаного з тріщинами та надривами становитиме 3,4%. При цьому, брак, пов'язаний з недостатньою товщиною стінки деталі під час нарізання різи, буде відсутній взагалі.

Отже, оскільки за початковими даними кількість браку пов'язана із тріщинами і надривами становила 67% від усіх дефектів та 22% від усієї кількості деталей [2]. Порівняння кількості браку за заводським технологічним процесом та модернізованим на 1000 виробів представлено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Порівняльний аналіз кількості браку за видами на 1000 виробів

Дефект	Відсоток від всієї партії	Розподіл браку за видами	Заводський технологічний процес	Модернізований технологічний процес
Тріщина	22%	67%	220	34
Відсутність тіла деталі (недостатня товщина стінки) при нарізанні різі	9,2%	28%	92	-
Невідповідність розмірів		3%		
Відсутність проштампованих пуклей	1,6%	2%	16	16
Всього			328	50

Таким чином, загальний рівень браку знизився з 328 деталей на 1000 штук до 50 деталей на 1000 штук, що становить 5% від випуску деталі.

2.7 Висновки до розділу

1. Розглянута методика досліджень та принципові схеми холодного пластичного деформування, які використовуються при вирубванні та витягуванні вісесиметричних деталей;

2. Розроблена методика математичного моделювання та розрахунок параметрів заготовки за допомогою програми «Deform-3D», яка дозволила виконати дослідження процесів вирубання та витягування вісесиметричних деталей.

3. На основі математичного моделювання процесу вирубання деталі «Втулка» запропоновано модернізувати розміри та елементи штампової оснастки – діаметр вирубного пуансону 29 мм, зазор між матрицею та вирубним пуансоном – 0,2 мм; допустима неспіввісність витяжної матриці і пуансону – не більше 0,2 мм при зазорі 1,8 мм на сторону, діаметр витяжного пуансона 39,6 мм, радіус його заокруглення – 5 мм.

4. В результаті підбору геометричних характеристик вирубного штампу та витяжного штампу очікувана кількість браку від тріщин та надривів зменшується з 22% до 3,4%, а брак пов'язаний із недостатньою товщиною стінки - зникне. Всього ж, рівень браку впаде з 32,8% до 5%.

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Оцінювання експертами потенціалу підвищення якості виготовлення деталі "Втулка"

Технологічний аудит проводять з метою оцінки комерційного потенціалу розробки, яка була розроблена і створена за результатом науково-технічної діяльності.

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ю критеріями, наведеними в (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено робоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 3.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 3.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка документів та отримання дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Отримання документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Отримання документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт №1	Експерт №2	Експерт №3
	Бали, виставлені експертами:		
1	1	2	2
2	2	2	1
3	3	2	2
4	3	2	1
5	3	2	2
6	1	2	2
7	3	3	4
8	1	2	2
9	4	3	3
10	3	2	2
11	2	4	2
12	4	2	3
Сума балів	СБ ₁ =30	СБ ₂ =28	СБ ₃ =26

Продовження таблиці 3.2

Середньоарифметична сума балів \overline{CB}	$\overline{CB} = \frac{\sum_{i=1}^3 CB_i}{3} = \frac{30+28+26}{3} = 28$
---	---

Згідно таблиці 3.2 розробка має рівень комерційного потенціалу вище середнього.

Так як в даній розробці використовується стандартне обладнання, то всі дії можуть виконуватися на підприємстві.

Ринками збуту продукції можуть бути промислові регіони України.

Потенційними покупцями нового товару можуть бути малі та середні машинобудівні та ремонтні підприємства з дрібносерійним, серійним та великосерійним виробництвом, які мають на меті виготовляти деталі з нових міцних матеріалів.

Так як дане інноваційне рішення проектується, розраховується і впроваджується лише на даному виробництві, то використовуватись воно буде лише на даному підприємстві.

При впровадженні заходів з підвищення якості виготовлення деталі «Втулка» збільшення економічного ефекту буде лише за рахунок зменшення браку унаслідок вдосконалення режимів роботи обладнання.

За умов вільної конкуренції з двох однакових товарів покупці завжди вибирають найдешевший, а за однакових цін – найякісніший. Під якість розуміють сукупність властивостей і характеристик продукції (послуг), що дають можливість задовольнити відповідні потреби. Міра придатності товару задовольнити певну потребу споживача оцінюється за допомогою спеціальних показників якості – кількісних характеристик однієї або декількох властивостей продукції за конкретних умов її створення чи використання.

3.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на розробку нового технічного рішення

Капітальні витрати на розробку нового конструкторського рішення складаються з відповідних витрат і розраховуються за формулою:

$$K = Z_0 + Z_p + Z_{\text{доп}} + Z_n + A_{\text{обл}} + M + K_e + B_{\text{ел}} + I_e \quad (\text{грн.}) \quad (3.1)$$

де Z_0 - основна заробітна плата розробників, грн.;

Z_p - основна заробітна плата робітників, грн.;

$Z_{\text{доп}}$ - основна заробітна плата робітників, грн.;

Z_n - нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

$A_{\text{обл}}$ - амортизація обладнання та приміщень для розробки, грн.;

M - витрати на матеріали, грн.;

K_e - витрати на комплектуючі, грн.;

$B_{\text{ел}}$ - витрати на електроенергію для розробки технічного рішення, грн.;

I_e - інші витрати, грн.

Витрати на основну заробітну плату розробників розраховують за формулою:

$$Z_0 = \frac{M \cdot t}{T_p} \quad (\text{грн.}) \quad (3.2)$$

де M_{ni} - місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.;

t_i - число днів роботи конкретного розробника, грн.;

T_p - середнє число робочих днів в місяці, $T_p = 21 \dots 23$ дні.

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10...12% від суми основної заробітної плати розробників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}}(Z_o + Z_p) = 0,12 \cdot 18440 = 2212,8 \text{ (грн.)} \quad (3.3)$$

Таблиця 3.3 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	15000	714	10	7140
Інженер-конструктор	10000	416	2	832
Науковий співробітник	15000	714	10	7140
Інженер-технолог	10000	416	8	3328
Всього				18440

Нарахування на заробітну плату розробників та робітників розраховується як 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати розробників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{\text{зн}} = (18440 + 2212,8) \cdot 0,22 = 4543,6 \text{ (грн.)} \quad (3.4)$$

Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання та приміщенням можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою.

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_B}{T_B} \cdot \frac{t_k}{12} \quad (3.5)$$

де $Ц_B$ – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, (грн.);

T_B – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці;

t_k – термін користування обладнання, місяці.

Таблиця 3.4 - Амортизаційні відрахування

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Оф. приміщення	170000	20	1	708
Комп'ютери з графічною системою виведення інформації	23500	5	1	392
Всього:				1100

Витрати на матеріали, у вартісному вираженні розраховують окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej} \quad (3.6)$$

де H_j - норма витрат матеріалу j -го найменування, кг; n - кількість видів матеріалів;

C_j - вартість матеріалу j -го найменування, грн./кг;

K_j - коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j=1,1 \dots 1,15$);

B_j - маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} - вартість відходів j -го найменування, грн./кг.

Таблиця 3.5 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн.	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн./кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Канцтовари (папір, тонер, накопичувачі)	-	-	-	-	500
Всього					500

Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$B_e = B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \quad (3.7)$$

де B – вартість 1 (кВт/год.) електроенергії. $B \approx 3$ (грн./кВт);

Π – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин,

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності; $K_{\Pi} < 1$.

Таблиця 3.6 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт.	Тривалість роботи, год.	Коефіцієнт використання потужності	Сума, грн.
Комп'ютерна та офісна техніка	1.5*2	80	0,7	504
$B_e = 504$				

Інші виробничі витрати доцільно прийняти як 200% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення. Величину витрат розраховують за формулою:

$$B_{in} = 2 \cdot (Z_0 + Z_p) = 2 \cdot 18440 = 36880 \text{ (грн.)} \quad (3.8)$$

Загальні витрати на виконання даної розробки.

$$B = 18440 + 2212,8 + 4543,6 + 1100 + 500 + 504 + 36880 = 64180,4 \text{ (грн.)}$$

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за $B_{заг}$ формулою:

$$B_{заг} = \frac{B_{in}}{\alpha}, \quad (3.9)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, в даному випадку $\alpha = 0.9$.

Тоді :

$$B_{\text{заг}} = \frac{64180,4}{0,9} = 71311,5 \text{ (грн.)}$$

Виконуємо прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи. Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\beta} \quad ЗВ = \frac{71311,5}{0,7} = 101873 \text{ (грн.)}, \quad (3.10)$$

де $\beta = 0.7$ - коефіцієнт, який характеризує етап (стадії розробки промислового зразка) виконання даної роботи.

3.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

За приблизними розрахунками на виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів, а також отримання прибутків необхідно 6 місяців. Проте, дане інноваційне рішення проектується і буде використовуватись лише на одному підприємстві під час виготовлення деталі типу «Втулка», то основний економічний ефект не буде складати прибуток від продажу даної деталі, а буде виражений через зменшення браку під час виготовлення виробу "Термія економ".

Позитивний ефект прогнозується одразу після впровадження розробки у виробництво, і за рахунок досить якісної зміни характеристик у порівнянні із аналогами актуальність нової розробки буде мати упродовж, мінімум, п'яти років.

В результаті впровадження результатів наукової розробки економічний ефект буде розрахований і виражений за допомогою розрахунку різниць

виготовлення браку між базовою технологією виготовлення і новою, а кількість одиниць реалізованої продукції збільшиться: протягом першого року – на 3000 шт., протягом другого року – ще на 2500 шт., протягом третього року – ще на 1500 шт., протягом четвертого року – ще на 1000 шт., протягом п'ятого року – ще на 500 шт.

Розрахунок проводимо за формулою:

$$\Delta E = (N_i \times b_i \times S_i) - (N_n \times b_n \times S_n), \quad (3.11)$$

де N_i ; N_n – кількість одиниць реалізованої продукції протягом певного часу, котра виготовлена базовою і новою технологією відповідно;

b_i ; b_n – відсоток браку за базовою і новою технологіями відповідно;

S_i ; S_n – собівартість розробки за базовою і новою технологією відповідно.

Збільшення економічного ефекту протягом першого року (значення ділимо на два, оскільки прибуток отримується із середини року):

$$\Delta E_1 = (7000 * 0,5 * 20) - (7000 * 0,05 * 20) = 63000 \text{ (грн.)}$$

Збільшення економічного ефекту протягом другого року:

$$\Delta E_2 = (9500 * 0,5 * 20) - (9500 * 0,05 * 20) + \Delta E_1 = 148500 \text{ (грн.)}$$

Збільшення економічного ефекту протягом третього року:

$$\Delta E_3 = (11000 * 0,5 * 20) - (11000 * 0,05 * 20) + \Delta E_2 = 247500 \text{ (грн.)}$$

Збільшення економічного ефекту протягом четвертого року:

$$\Delta E_4 = (12000 * 0,5 * 20) - (12000 * 0,05 * 20) + \Delta E_3 = 355500 \text{ (грн.)}$$

Збільшення економічного ефекту протягом п'ятого року:

$$\Delta E_5 = (12500 * 0,5 * 20) - (12500 * 0,05 * 20) + \Delta E_4 = 468000 \text{ (грн.)}$$

3.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення таких робіт:

Розраховують теперішню вартість інвестицій PV, що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю ми можемо вважати прогнозовану величину загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів дослідження, що складає 101873 (грн.).

Розраховуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$.
Для цього користуються формулою:

$$E_{\text{абс}} = (\text{ПП} - \text{PV}), \quad (3.12)$$

де ПП – приведена вартість економічного ефекту, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = \text{ЗВ}$, грн.

У свою чергу, приведена вартість економічного ефекту ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^m \frac{\Delta E_i}{(1+\tau)^t}, \quad (3.13)$$

де ΔE – збільшення економії у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, (грн.);

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

Якщо $E_{abc} \leq 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження буде збитковим і вкладати кошти в проведення цих досліджень ніхто не буде.

Якщо $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Розрахуємо абсолютну ефективність інвестицій, вкладених у реалізацію проекту. Домовимося, що ставка дисконтування τ дорівнює 0,1.

Отримаємо:

$$ПП = \frac{63000}{(1+0,1)^1} + \frac{148500}{(1+0,1)^2} + \frac{247500}{(1+0,1)^3} + \frac{355500}{(1+0,1)^4} + \frac{468000}{(1+0,1)^5} = 899353 \text{ (грн.)}$$

$$\text{Тоді } E_{abc} = 899353 - 101873 = 797480 \text{ (грн.)}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Відносна (щорічна) ефективність вкладних інвестицій в проведення наукових досліджень та впровадження їх результатів складе:

$$E_{\epsilon} = T_{\text{ок}} \sqrt[5]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1 = \sqrt[5]{1 + \frac{797480}{101873}} - 1 = 0,546 \text{ або } 54,6\%, \quad (3.16)$$

Оскільки $E_B = 54,6\% > \tau_{\text{мін}} = 0,3 = 30\%$, то інвестора може бути зацікавлений у вкладенні грошей в дану наукову розробку.

Розраховуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{\text{ок}}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_B}. \quad (3.17)$$

Якщо $T_{\text{ок}} < 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним. В інших випадках потрібні додаткові розрахунки та обґрунтування.

Термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій $T_{\text{ок}}$ складе:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,546} = 1,83 \text{ року,}$$

що свідчить про можливу доцільність фінансування даної наукової розробки.

3.5 Висновки до розділу

1. На основі економічних розрахунків було визначено та розраховано кошторис капітальних витрат на вдосконалення параметрів технологічного процесу що складає 64180 грн., на його реалізацію та впровадження – 101873 грн., а також оцінено відносну економічну ефективність інноваційного рішення – 54,6%.

2. Визначено капітальні витрати на розробку нового технологічного процесу, витрати на основну заробітну плату розробників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію та матеріали, що складає 27379 грн.

3. В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової роботи, спрогнозовано комерційний ефект від впровадження результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності.

4. За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової роботи оскільки вона є економічно виправданою, тому що ефективність вкладених інвестицій в проведення наукових досліджень та впровадження їх результатів складає 54% – тому інвестор буде зацікавлений у вкладанні грошей в розробку, а також термін окупності вкладених у розробку і реалізацію проекту інвестицій складає приблизно 1,83 року, що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз умов праці

На дільниці технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Втулка» на працівників можуть впливати шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

До шкідливих виробничих факторів відносять:

а) підвищена або понижена температура повітря, концентрація в повітрі робочої зони газів;

б) виробничий шум та вібрації.

в) недостатнє освітлення робочої зони.

До небезпечних виробничих факторів відносять:

а) електричний струм;

б) психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

Застосовується 3-х фазна, 3-х провідна мережа з ізолюваною нейтраллю.

Приміщення є вогнестійкими і оснащені приточно-витяжною вентиляцією, яка забезпечує задовільний стан повітряного середовища.

Робочі місця оснащуються місцевою витяжною вентиляцією.

Штучне освітлення, електропроводку і інше обладнання виконуються в вибухонебезпечному стані.

Висота стелі повина бути не меншою за 3,2 метри.

Підлогу роблять твердою, негорючою, не слизькою і рівною.

Вхідні двері оббиваються листовою-сталлю і відкриваються назовні. Інтер'єр приміщення дільниці фарбують в світлий колір з дифузійним відбиттям світла. Пости знаходяться на відстані 4-10 м від місця де знаходяться горючі матеріали.

4.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Вимоги до виробничих та допоміжних приміщень. Будівлі повинні відповідати вимогам:

- площа виробничого приміщення на одного працюючого - $4,5 \text{ м}^2$;
- об'єм виробничого приміщення на одного працюючого - 15 м^3 ;
- висота цеху - 3,5м.

Ремонтні майстерні, інструментальні кладові, службові приміщення повинні розташовуватись в добудованих до основної будівлі.

Допоміжні приміщення потрібно розташовувати в добудованих до виробничих будівель в місцях з найменшою дією небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Висота допоміжних приміщень, розташованих в виробничих будівлях, повинна бути не менше 2,4 м.

4.2.1 Мікроклімат

Роботи, що виконуються відносяться до категорії робіт Пб – середньої важкості. Вони пов'язані з розбиранням і збиранням вузлів і агрегатів. Ці роботи пов'язані з середнім фізичним навантаженням.

Параметри, що характеризують мікроклімат в приміщенні є наступними: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря.

Оптимальні і допустимі норми цих параметрів в залежності від категорії робіт, періоду року. Числові значення цих норм додано в таблицю 4.1.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої не перевищують допустимих значень.

Для захисту від шкідливих речовин застосовують комплекс організаційно-технічних санітарно-гігієнічних заходів:

- пристрій місцевої витяжної вентиляції для видалення шкідливих речовин від місць їх утворення;
- регулярне прибирання приміщення;
- застосування засобів індивідуального захисту (спеціальний одяг, захисні окуляри, респіратори та інше);
- профілактичні медичні огляди, виконання правил особистої гігієни;
- суворе дотримання правил поведінки з устаткуванням,

Таблиця 4.1 – Оптимальні і допустимі норми параметрів мікроклімату в приміщенні

Період року	Категорія	Температура, °С			Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/хв	
		Оптим.	Допустима		Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
			Верхня гран.	Нижня гран.				
Холод	Пб	17-19	21	15	40-60	75	0.3	0.4
Тепло	Пб	20-22	27	16	40-60	70	0.4	0.5

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони проводиться на найбільш небезпечних робочих місцях. При однаковому обладнанні, або при виконанні однакових операцій контроль проводиться вибірково на окремих робочих місцях, розташованих в центрі і по периферії приміщення.

Система вентиляції приміщення буде комбінована, тобто буде поєднувати в собі механічну і природну, організовану вентиляцію.

4.2.2 Виробниче освітлення

Роботи що виконуються на даній ділянці відносяться до розряду зорової роботи IVa. Освітленість при системі одного загального освітлення 300 лк. Характеристика зорової роботи середньої точності. Найменший розмір розрізнення 1 мм.

На дільниці спроектоване устаткування для освітлення з урахуванням класифікації пожежовибухонебезпечних технологічних одиниць і устаткування. Значення якісних та кількісних показників освітлення передбачені вимогами і наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Параметри штучного та природного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір розрізнованого об'єкта, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Характеристика фона	Штучне освітлення	Природне освітлення
					Освітленість, лк	КПО %
Малої точності	1	IV	a	малий	300	1,5

Природне освітлення на дільниці - бокове одностороннє. Розрахуємо коефіцієнт природної освітленості:

$$e_l = e_n \cdot m \cdot c_k = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 0,945 \approx 1\%,$$

де $m=0,9$ - коефіцієнт світового клімату для IV поясу;

$c_k=0,7$ - коефіцієнт сонячності клімату, азимут 90° .

Характеристика штучних джерел світла наведено в таблиці 4.3.

Люмінесцентні лампи встановлені на висоті 3,2 м. Внутрішня електропроводка виконана з надійною електро- та гідроізоляцією. Робоче місце робітника забезпечене місцевим освітленням. На дільниці передбачене аварійне освітлення, освітлює підлоги в основних місцях і переходах, відповідає - 0,5 лк.

Таблиця 4.3 – Підбір штучних джерел світла

Характеристика зорової роботи	Освітленість при системі заломленого освітлення, лк	Мінімальний індекс кольоропередачі джерела світла для виробничої будівлі	Діапазон кольорової апаратури джерел світла для виробничої будівлі	Наведені типи джерел освітлення будівель
Робота з механічними об'єктами	150-300	30	3000-4500	ЛБ, ДБЛ

4.2.3 Виробничий шум

Під час роботи на дільниці робітники піддаються впливу шуму. Джерелами шуму є: верстати, вентиляційна система, трансформатори та інше обладнання.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Рівні звукового тиску

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку в дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання всіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях і на території	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

При надмірних шумах встановлено звукоізоляцію, кожухи, відбиваючі екрани, заглушки та інші пристрої. Шумові машини закриваються

звукоізованими кожухами, які виготовлені з металу та облицьовані зсередини звукопоглинаючими матеріалами, де неможливо ізолювати джерела шуму проводять акустичну обробку.

4.2.5 Виробничі вібрації

Крім впливу шуму на ділянці робітники піддаються впливу вібрації. Захист від вібрації повинен задовольняти вимогам. Вібрації знижуються за допомогою амортизаторів, змащувальних матеріалів і реактивних гасників пульсацій. Для особистого захисту робітників застосовують спеціальне взуття на вібропоглинаючій підшві, рукавиці з м'якими надолонниками. На робітників може також діяти локальна та загальна вібрації. Загальна вібрація категорії "3" тип "а", критерії оцінки - границя зниження продуктивності праці.

Нормування вібрацій наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Характеристики вібрацій

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Нормативне коректування по частоті і еквівалентне коректування значень			
			Віброприскорення		Віброшвидкість	
			м/с ² ·10 ⁻²	дБ	м/с ² ·10 ⁻²	дБ
Локальна	—	Xп, Ya, Zп	2,0	12.5	2,0	112
Загальна	3 тип "а"	Z ₀ . Y ₀ . X ₀	0,1	100	0,2	92

Віробезпека праці на підприємстві забезпечується дотриманням правил умов експлуатації машин і введення процесів підтримання технічного стану машин, параметрів технологічних процесів і елементів виробничого середовища, своєчасним проведенням планового і попереднього ремонту машин і обладнання.

4.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

4.3.1. Техніка безпеки

Для забезпечення безпеки повинні встановлюватися пристрої, що виключають можливість проникнення робітника в небезпечну зону; захисні екрани для верстатів; переносні огорожі; блокуючі пристрої; пристрої сигналізації у верстатах; застосовуватись особливі конструкції кнопок керування, що роблять неможливим попадання робітника у небезпечну зону.

Робітники дільниці при обробці різанням повинні мати засоби індивідуального захисту: спецодяг, взуття.

4.3.2. Електробезпека

Дільниця відноситься до особливо небезпечної дільниці, оскільки підлога струмопровідна і в повітрі є струмопровідні гази. Захист проводимо такими методами: електроізоляція струмонесучих частин, системи автоматичного відключення - це такі пристрої, спроможні автоматично відключати установку від мережі у випадку виникнення аварійної ситуації.

Для підводу струму до електротримачів необхідно використовувати ізольовані гнучкі кабелі. При прокладанні або переміщенні дротів необхідно приймати заходи проти пошкодження їх ізоляції. Відстань від дротів до гарячих трубопроводів повинна бути не менша 0,5 м. В джерелах живлення обладнання повинні бути передбачені і встановлені надійні огороження елементів, які знаходяться під напругою. Металеві частини обладнання, які знаходяться під напругою повинні бути заземленні. Дільниця повинна бути відокремлена від суміжних робочих місць і проходів незгораємими екранами висотою не менше 1,8 м.

Джерела струму можуть приєднуватись до розподільчих електричних мереж з напругою не більше 380 В. Усе устаткування повинно бути захищене запобіжниками або автоматичними вимикачами з боку мережі, що живлять.

4.4 Пожежна безпека

Дільниця належить до категорії приміщення з позначкою Г. Категорію Г для будівель застосовані тому, що дільниця характеризується негорючими речовинами і матеріалами в гарячому або розжареному стані з виділенням променевого тепла, іскр, газоподібних речовин.

Характеристика приміщення по вибухопожежній небезпеці відображена в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Характеристика приміщення по вибухопожежній небезпеці

Категорія приміщення	Характер речовин та матеріалів, що знаходяться в приміщенні
Г	Негорючі речовини в гарячому або в розжареному стані, в процесі роботи яких виділяється промениста теплота, іскри полум'я, горючі гази, рідини і тверді речовини накопичуються і утилізуються в якості палива

За ступенем вогнестійкості елементів будівля відноситься до групи II.

Ступінь вогнестійкості будівлі II - це будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плиткових матеріалів таблиці 4.7 та 4.8.

Роботи можуть спричинити пожежу. Для її запобігання вживаємо ряд протипожежних заходів, найважливішим з яких - суворе дотримання протипожежного режиму роботи, а також правил експлуатації електрообладнання. Неможливе зберігання легкозаймистих та вогненебезпечних матеріалів.

Для запобігання пожежі сигналізацію автоматичної дії та теплові попередники максимальної дії. Вони спрацьовують, коли температура

повітря досягає заданого критичного значення. Для локалізації та ліквідації невеликих загорань та пожеж застосовуємо первинні засоби пожежогасіння.

Таблиця 4.7 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у год.) і максимальні межі розповсюдження полум'я по них (у см.) для даного ступеня вогнестійкості будівель

Ступінь вогнестійкості	Стіни				Колони	Сходчаті площадки і клітки, косоури	Плити, настили тощо несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі				настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
Па	1/0	0,5/0	0,25/40	0,25/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

Таблиця 4.8 – Ступінь вогнестійкості, допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі

Категорія будівлі	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного		
			Одноповерхових	Багатоповерхових	
				2 поверхи	3 і більше
Г	6	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.

Для гасіння пожежі передбачені:

- щити з пожежним інвентарем;
- ящик з піском, кирки, лопати;
- щит з вогнегасниками ОУ-8.

Відстань від найбільш віддаленого місця до найближчого евакуаційного виходу для категорії приміщень Г, незалежно від об'єму, для ступеня вогнестійкості II - не обмежується.

У покритті будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції.

4.5. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Визначення області працездатності системи управління обладнання в умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань.

4.5.1 Дія іонізуючих та електромагнітних випромінювань на електронні пристрої та системи

Радіоелектронна апаратура, що знаходиться в зоні дії іонізуючих випромінювань, може істотно змінювати свої параметри і виходити з ладу.

Ці пошкодження відбуваються в результаті зміни фізичних і хімічних властивостей радіотехнічних (напівпровідникових, ізоляційних, металевих і ін.) матеріалів, параметрів приладів і елементів електронної техніки, виробів електротехніки і радіоелектронних схемних пристроїв.

Здатність виробів виконувати свої функції і зберігати характеристики і параметри в межах встановлених норм під час і після дії іонізуючих випромінювань називають радіаційною стійкістю.

Ступінь радіаційних пошкоджень в опромінюваній системі залежить як від кількості енергії, що передається при опроміненні, так і від швидкості передачі цієї енергії. Кількість поглиненої енергії і швидкість передачі її у свою чергу залежать від виду і параметрів випромінювання і ядерно-фізичних характеристик речовин, з яких виготовлений опромінюваний об'єкт.

Зміна властивостей речовин, що виникають в результаті взаємодії з іонізуючими випромінювань, ґрунтується на утворення різних дефектів в матеріалі. Радіаційні зміни в матеріалах бувають наступних типів: вакансії (вакантні вузли), атоми домішок (домішкові атоми), зіткнення при заміщеннях, термічні (теплові) піки, піки зсуву, іонізаційні ефекти.

Суттєвий вплив на роботу електронних систем та обладнання має електромагнітне випромінювання. До основних його джерел можна прирахувати перш за все електромагнітну та атомну зброю, а також електротранспорт (трамваї, тролейбуси, поїзди і т.д.), лінії електропередач (міського освітлення, високовольтні і т.д.), електропроводку (усередині будівель, телекомунікації і т.д.), побутові електроприлади, теле- і радіостанції (трансляючі антени), супутниковий і стільниковий зв'язок (трансляючі антени), персональні комп'ютери і т. д.

Для зниження інтенсивності впливу цих випромінювань на різні системи можна вжити інженерно-технічні захисні заходи, що будуються на використанні явища екранування електромагнітних полів безпосередньо в місцях розташування обладнання або на заходах щодо обмеження емісійних параметрів джерела поля. Цей вид випромінювання має високу проникну здатність. Для захисту обладнання, що розташоване в відкритих приміщеннях здійснюється екранування оглядових вікон, вікон приміщень, перегородок застосовується металізованим склом, що володіє екрануючими властивостями. Така властивість склу додає тонка прозора плівка з оксидів металів, частіше за все олово, або металів – мідь, нікель, срібло і їх поєднання. Плівка володіє достатньою оптичною прозорістю і хімічною стійкістю. Будучи нанесеній на одну сторону поверхні скла вона ослабляє інтенсивність випромінювання в діапазоні 0,8-150 см на 30 Дб (у 1000 разів). При нанесенні плівки на обидві поверхні скла ослаблення досягає 40 дб (у 10000 разів). Для захисту обладнання від дії електромагнітних випромінювань в будівельних конструкціях, як захисні екрани можуть застосовуватися металева сітка, металевий лист або будь-яке інше провідне покриття, у тому числі і спеціально розроблені будівельні матеріали. У ряді випадків достатньо використання заземленої металевої сітки, що поміщається під облицювальний або штукатурний шар. Як екрани можуть застосовуватися також різні плівкові і тканинні ізоляції з металізованим покриттям. Останніми роками як екрануючі матеріали широко

використовуються металізовані тканини на основі синтетичних волокон. Їх отримують методом хімічної металізації (з розчинів) тканин різної структури і щільності. Існуючі методи отримання дозволяє регулювати кількість металу, що наноситься, в діапазоні від сотих долей до одиниць мкм і змінювати поверхневий питомий опір тканин від десятків до долей Ом.

4.5.2 Визначення області працездатності системи управління обладнання в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що визначатиме працездатність системи управління в умовах дії іонізуючих випромінювань приймається максимальне значення потужності дози в умовах експлуатації, яка може зумовити виникнення зміни параметрів елементів системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Аналіз структурної та електричної схем системи керування показує, що елементами без яких неможливе її нормальне функціонування є: інтегральні схеми, конденсатори, мікросхеми, випрямлячі, магнітні матеріали, транзистори, діоди, резистивні елементи, діелектричні матеріали, індуктивні елементи та напівпровідники.

Довідникові дані про граничні значення доз іонізуючого випромінювання для системи ЧПК наведені в таблиці 4.9.

За довідниковими даними граничне значення дози гамма-випромінювання для системи ЧПК складає $D_{гр}=10^4$ Р.

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання можна визначити за формулою

$$P_{ep.min} = \frac{D_{ep} \cdot K_{noc}}{2(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})} = \frac{10^4 \cdot 5}{2(\sqrt{87601} - \sqrt{1})} = 167,5 \text{ (Р/год)},$$

де $t_n=1$, $t_k=10$ років=87601 год– відповідно, час початку і кінця роботи системи ЧПК, що визначається її експлуатаційним терміном;

$K_{noc} = 5$ – коефіцієнт послаблення радіації.

Таблиця 4.9 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для елементів системи управління

Елементи і матеріали системи ЧПК	Гранична доза гамма-випромінювання для елементів системи ЧПК, $D_{гр.і}$, Р	Гранична доза гамма-випромінювання для системи ЧПК, $D_{гр}$, Р
Індуктивні матеріали	10^6	10^4
Інтегральні схеми	10^4	
Конденсатори	$10^7 \dots 10^9$	
Резистивні елементи	$10^7 \dots 10^9$	
Діелектричні матеріали	10^{10}	
Транзистори, діоди	10^4	
Мікросхеми	10^5	
Випрямлячі	10^6	
Магнітні матеріали	10^{10}	
Напівпровідники	$10^5 \dots 10^6$	

Отже, можна зробити висновки про те, що область працездатності системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань визначена потужністю експозиційної дози іонізуючих випромінювань в межах від 0 до 167,5 Р/год.

Проведені для системи управління обладнання розрахунки показали, що в умовах дії іонізуючих область її працездатності визначена потужністю дози іонізуючих випромінювань в межах від 0 до 167,5 Р/год і вертикальною складовою напруженості електричного поля в межах від 0 до 0,3 В/м.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено сучасний стан проблеми підвищення якості виготовлення деталі "Втулка" під час двоопераційної обробки. Побудовано модель процесу та визначено основні параметри операції. Встановлено взаємозв'язок між геометричними параметрами заготовки, матриці, пуансона та пошкодженням матеріалу деталі.

1. Розглянута методика досліджень та принципові схеми холодного пластичного деформування, які використовуються при вирубванні та витягуванні вісесиметричних деталей;

2. Розроблена методика математичного моделювання та розрахунок параметрів заготовки за допомогою програми «Deform-3D», яка дозволила виконати дослідження процесів вирубання та витягування вісесиметричних деталей.

3. На основі математичного моделювання процесу вирубання деталі «Втулка» запропоновано модернізувати розміри та елементи штампової оснастки – діаметр вирубного пуансону 29 мм, зазор між матрицею та вирубним пуансоном – 0,2 мм; допустима неспіввісність витяжної матриці і пуансону – не більше 0,2 мм при зазорі 1,8 мм на сторону, діаметр витяжного пуансона 39,6 мм, радіус його заокруглення – 5 мм.

4. В результаті підбору геометричних характеристик вирубного штампу та витяжного штампу очікувана кількість браку від тріщин та надривів зменшується з 22% до 3,4%, а брак пов'язаний із недостатньою товщиною стінки - зникне. Всього ж, рівень браку впаде з 32,8% до 5%.

5. На основі економічних розрахунків було визначено та розраховано кошторис капітальних витрат на вдосконалення параметрів технологічного процесу що складає 64180 грн., на його реалізацію та впровадження – 101873 грн., а також оцінено відносну економічну ефективність інноваційного рішення – 54,6%.

6. Визначено капітальні витрати на розробку нового технологічного процесу, витрати на основну заробітну плату розробників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію та матеріали, що складає 27379 грн.

7. В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової роботи, спрогнозовано комерційний ефект від впровадження результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності.

8. За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової роботи оскільки вона є економічно виправданою, тому що ефективність вкладених інвестицій в проведення наукових досліджень та впровадження їх результатів складає 54% – тому інвестор буде зацікавлений у вкладанні грошей в розробку, а також термін окупності вкладених у розробку і реалізацію проекту інвестицій складає приблизно 1,83 року, що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

9. Виконано аналіз умови праці, основні принципи конструювання робочого місця та створення сприятливого мікроклімату. Визначено можливий вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів та їх класифікацію.

10. Приведені заходи по техніці безпеки, їх класифікація та можливі наслідки. Проаналізовано вимоги до обладнання, виробничої санітарії та сприятливого мікроклімату робочого місця. Приведені розрахунки, які визначили ступінь освітленості робочого місця.

11. Проаналізовано вплив вібрацій, причини виникнення, методи та засоби боротьби з шкідливим фактором. Визначено ступінь пожежної безпеки, евакуаційні виходи та засоби гасіння при надзвичайній ситуації.

12. Розглянуто вплив іонізуючого випромінювання на систему управління обладнанням та визначено граничну величину електромагнітного імпульсу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малов А. Н. Технология холодной штамповки / А. Н. Малов. Москва: Машиностроение, 1969. – 568 с.
2. Келип С. М. Виготовлення вісесиметричної деталі з центральним отвором і відбортовкою. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/6272/5173>
3. Скворцов Г. Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. Конструкции и расчеты / Г. Д. Скворцов. Москва: Машиностроение, 1972. – 360 с.
4. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки: учебник для вузов / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. Москва: Машиностроение, 1989. – 304 с.
5. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / под ред. А. Д. Матвеева. Москва: Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.
6. Скрипачев А.В. Вытяжка листового материала: Учебно-методическое пособие. — Тольятти:ТГУ, 2016. — 51 с.
7. Беляев В.А. Холодная листовая штамповка: Учебное пособие. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2008. - 128 с
8. Расчет технологических параметров листовой штамповки осесимметричных деталей: учебное пособие по курсу "Технология листовой штамповки" для студентов, обучающихся по специальности 150201.65 "Машины и технология обработки металлов давлением" и направлениям 150400.62 "Технологические машины и оборудование", 150700.62 "Машиностроение" / Шпунькин Г.Ф., Типалин С.А., Афанасьева Н.И. – М.: МГТУ "МАМИ", 2011. -139 с.
9. Артемчук О. Ю. Підвищення якості виготовлення деталей холодним листовим штампуванням [Електронний ресурс] / О. Ю. Артемчук, В. В. Савуляк // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим

доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/9915>.

10. ГОСТ 19904-90. Прокат листовой холоднокатанной. Сортамент.
11. Писаренко В. Г. Вплив різнотовщинності листових зразків для випробувань на розтяг на поверхню граничних деформацій [Текст] / В. Г. Писаренко, В. В. Савуляк, В. Є. Білічкіна // Проблеми трибології. – 2014. – № 4. – С. 106–111.
12. Савуляк В. В. Оцінка розсіювання значення використаного ресурсу пластичності для процесів обробки тиском листових матеріалів / В. В. Савуляк, В. Г. Писаренко, Р. О. Мордач, М. О. Мордач // Наукові нотатки. - 2016. - Вип. 54. - С. 268-272. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2016_54_50
13. Козловський В.О. Техніко-економічне обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75 с.
14. Юдин Е. Я. Охрана труда в машиностроении / Е. Я. Юдин. М.: Машиностроение, - 1983. – 432 с.
15. Сакевич В.Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах (друге видання). Навчальний посібник./ В. Ф. Сакевич, М. А. Томчук – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 141 с.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ДОДАТКИ

Додаток А
Технічне завдання

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
зав. кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Л.Г.Козлов

_____ (підпис)

«___» _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА"
ХОЛОДНИМ ЛИСТОВИМ ШТАМПУВАННЯМ ПРИ ДВООПЕРАЦІЙНІЙ
ОБРОБЦІ
08-26.МКР.001.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., доцент каф. ТАМ
Савуляк В.В. _____

«___» _____ 20__ р.

Виконавець: студент 2 курсу, групи 1ПМ-19м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Артемчук О.Ю. _____

«___» _____ 20__ р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи

а) виробниче завдання пов'язане із високим рівнем браку під час виготовлення деталі "Втулка"

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) мета – зниження рівня браку під час виготовлення деталі "Втулка" шляхом встановлення раціональних параметрів оснащення;

б) розробка призначена для застосування на машинобудівних підприємствах України.

3. Джерела розробки для виконання МКР

Джерела розробки: дане технічне завдання, довідникова та технічна література, комплект документації по маршрутній технології обробки тиском.

При виконанні МКР в якості вихідних даних було задано:

- деталь «Втулка»;

- маса деталі $m = 0,18$ кг;

- річна програма випуску розрахункового представника – 10000 шт.;

- матеріал заготовки – Лист ВТ-2,0 ГОСТ 19904-90/3-II-ВР-08кп ГОСТ 9045-93;

4. Вимоги до виконання МКР

МКР повинно використовувати математичні моделі, схеми та рішення, адекватність яких підтверджена попередніми дослідженнями, обґрунтованими висновками, експериментальними даними.

5. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками	5.09.20 р.	20.11.20 р.	Формування задачі досліджень, розділ 1

Продовження таблиці

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
2	Методика теоретичних (експериментальних) досліджень об'єкту вивчення	24.09.20	22.10.20	Об'єкт дослідження, розділ 1
3	Математичне моделювання та аналіз результатів дослідження	21.09.20	20.11.20	розділ 2, публікація результатів
4	Підготовка економічної частини	02.10.20	14.11.20	розділ 3, апробація
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	02.10.20	14.11.20	розділ 4
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	16.10.20	25.11.20	пояснювальна записка

6. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив рецензента, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

7. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів науково-дослідницької частини МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Представлення МКР на захист відбувається після проходження попереднього захисту на засіданні кафедральної комісії та її позитивного висновку. Готова робота, з усіма необхідними компонентами і підписами подається на кафедри за два дні до захисту. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

8. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін,

що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011р. та на основі ДСТУ 3008:2015.

9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Вимоги відсутні.

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

Додаток Б

Графічна частина

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту

Магістерська кваліфікаційна робота
на тему

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА" ХОЛОДНИМИ ЛИСТОВИМИ
ШТАМПУВАННЯМ ПРИ ДВООПЕРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ
08-26.МКР.01.00.000.ПЗ

Виконав: студент 2 курсу,
групи 1ПМ-19м
спеціальності 131 –
«Прикладна механіка»
Артемчук О.Ю.
Керівник: К.Т.Н., доцент
Савуляк В.В.

Вінниця ВНТУ 2020

Метою роботи є зменшення кількості браку, що виникає в процесі холодної двоопераційної обробки вісесиметричної деталі з центральним отвором за рахунок уточнення геометричних параметрів заготовки та оснащення його елементів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- виявити вплив основних геометричних параметрів на пошкодженість матеріалу заготовки та товщину стінки в процесі вирубкування та наступного витягування вісесиметричної деталі;
- змоделювати процес вирубкування деталі «Втулка»;
- змоделювати процес витягування вісесиметричної деталі;
- встановити взаємозв'язок між геометричними параметрами заготовки, матриці і пуансона та їх взаємного розташування з кількістю браку, який виникає під час двоопераційної обробки.

Об'єкт дослідження: процеси холодної пластичного деформування.

Предмет дослідження: пошкодження заготовки в процесі двоопераційної холодної пластичної обробки.

Наукова новизна одержаних результатів:

- встановлено залежність рівня пошкодження матеріалу заготовки від товщини листа та зазору між матрицею і вирубним пуансоном;
- вперше показано, що за умови вільного витягування (зазор більше товщини листа) відхилення від співвісності витяжного пуансона і матриці сприяє зменшенню мінімальної товщини стінки.

Практичне значення одержаних результатів:

- Розроблені рекомендації щодо вибору розмірів вирубного пуансона, матриці та зазору між ними;
- Отримано рівняння регресії, яке описує вплив товщини заготовки і зазору на ширину зони пошкодження в процесі вирубкування заготовки;

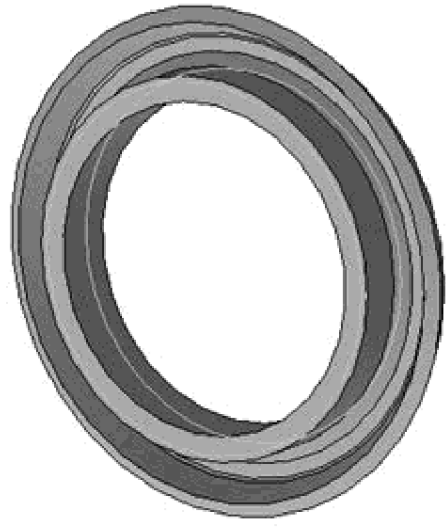
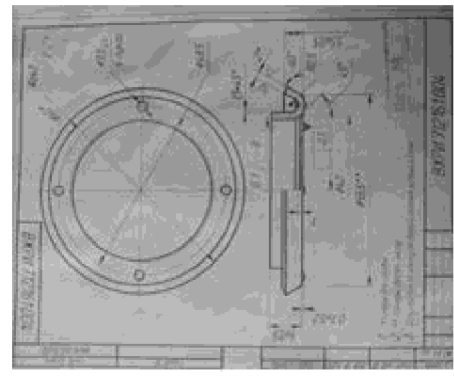
Рекомендовано обмежити відхилення від співвісності матриці і пуансона витяжного штампу величиною не більше 0,2 мм.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дослідження були отримані самостійно автором. Мета та завдання дослідження узгоджені з науковим керівником.

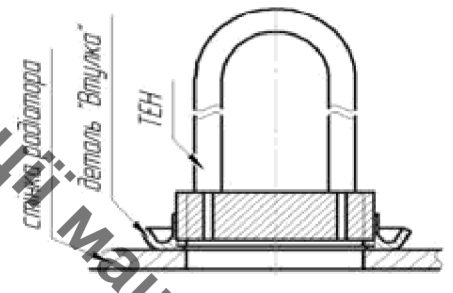
Апробація результатів. Основні матеріали роботи доповідались на XLIX науково-технічній конференції ВНТУ, регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників в науково-дослідницькій організації та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області.

Публікації. Матеріали магістерської кваліфікаційної роботи були опубліковані в тезах доповідей науково-технічної інтернет-конференції ВНТУ [2].

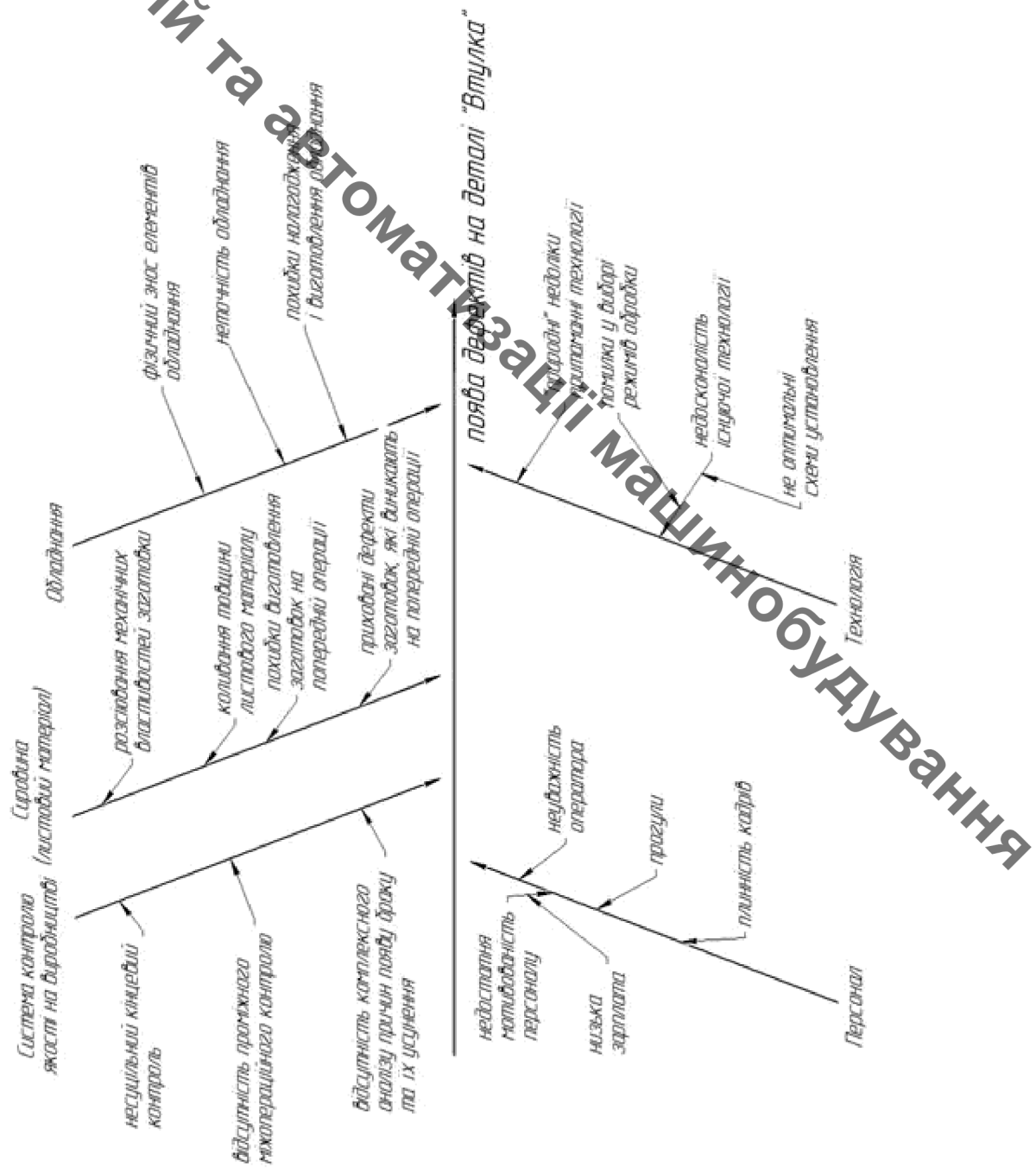
Заводське креслення, 3Д-модель та фотографія реальної деталі "Втулка"



Загальний вигляд масляного радіатора та схема використання деталі "Втулка" в ньому



Причинно-наслідкова діаграма аналізу появи тріщин на деталях "Втулка"



Розподіл типових дефектів на 100
дефектних деталей

Дефект	Кількість в поєв	Відсоток
Тріщина	67	67%
Відсутність тіла деталі (недостатня товщина стінки) при нарізанні різі	18	28%
Невідповідність розмірів	3	3%
Відсутність проштампованих пуклей	2	2%

Базовий технологічний процес

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Хід поєвуна	Обладнання
1	2	3	4	5
005	Заготівельна	Розрізати лист на полоси шириною 69×1250 мм	-	Ножиці листові кривошипні НЗ118Б
010	Комбінована	Пробити отвір Ø62,4 під розбордовку і вирубати контур деталі	30	Прес КД2326
015	Формувальна	Формувати деталь, отвір під різь вигриваючи розміри згідно ескізу	50	Прес К2330Б
020	Формувальна	Формувати 4 пуклей за 1 удар	40	Прес КД2322
025	Контрольна	Перевірити марку матеріалу та розміри		

Моделювання процесу вирубубування

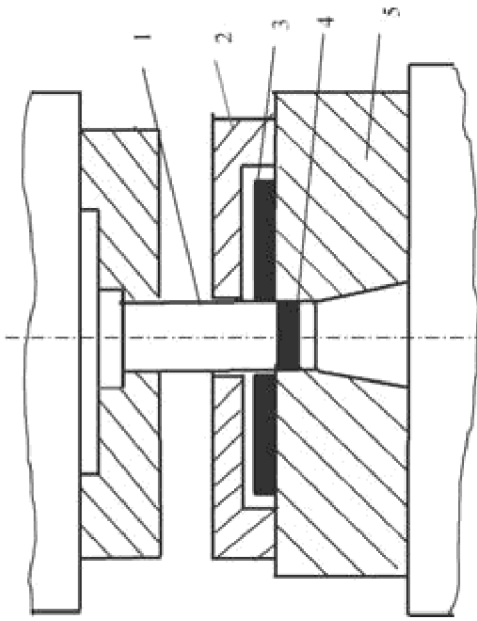
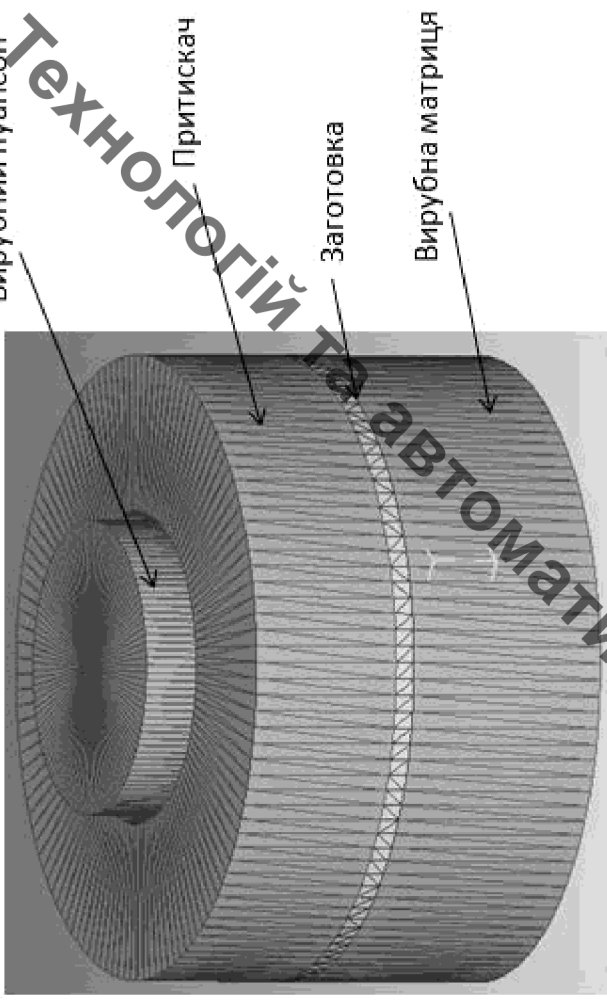


Схема штампа для вирубубування і пробивання:

- 1 - пуансон; 2 - знімач; 3 - лист (полоса); 4 - деталь в разі вирубубки, відхід в разі пробивання; 5 - матриця



Модель взаємодії оснащення з заготовкою в процесі вирубубування

Величини початкових зазорів при виготовленні вирубубних і пробивних штампів (засори діаметральні або двосторонні), в мм

Товщина матеріалу, в мм	початковий зазор		Товщина матеріалу, в мм		початковий зазор	
	найменший	найбільший	найменший	найбільший	найменший	найбільший
1,0	0,06	0,10	2,2	0,17	0,25	
1,2	0,08	0,12	2,5	0,20	0,28	
1,5	0,10	0,16	2,8	0,22	0,32	
1,8	0,12	0,2	3,0	0,24	0,36	
2,0	0,14	0,22	3,5	0,32	0,46	

Регресійний аналіз за допомогою повнофакторного експерименту

Рівні факторів

Рівні факторів	$d_{\text{ш}}$, мм	s , мм	Z , мм
	X_1	X_2	X_3
Основний	29.5	2	0.18
Інтервал варіювання	1	0.16	0.08
Верхній	30	2.08	0.22
Нижній	29	1.92	0.14

Кодовані значення факторів

Рівні факторів	Кодове позначення		$d_{\text{ш}}$, мм	s , мм	Z , мм
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Основний	0		29.5	2	0.18
Інтервал варіювання	не позначається		1	0.16	0.08
Верхній	+		30	2.08	0.22
Нижній	-		29	1.92	0.14

Матриця планування експерименту

Номер досліджу	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$
1	+	-	-	-	+	+	+	-
2	+	+	-	-	-	-	+	+
3	+	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	+	-	+	-	-	-
5	+	-	-	+	+	-	-	+
6	+	+	-	+	-	+	-	-
7	+	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	-	+	+	+	+

Результати розрахунків пошкодженості матеріалу деталі "Втулка" при різних параметрах процесу виробування (діаметр пуансону – 29-30 мм, товщина листа заготовки – 1,92-2,08 мм, зазор між матрицею і пуансоном – 0,14-0,22 мм)

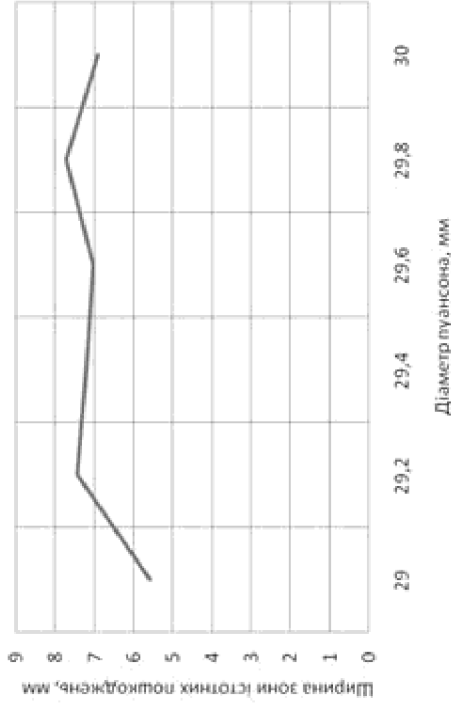
№ п/п	Діаметр пуансону, мм	Товщина листа, мм	Зазор між матрицею і пуансоном, мм	Ширини зони пошкодження до 0,1 в діаметральному вираженні	Ширини зони пошкодження з урахуванням діаметру пуансону, мм
1	2	3	4	5	6
1	29,0	1,92	0,14	34,6	5,6
2	29,2	1,92	0,14	36,64	7,44
3	29,4	1,92	0,14	36,62	7,22
4	29,6	1,92	0,14	36,64	7,04
5	29,8	1,92	0,14	37,52	7,72
6	30	1,92	0,14	36,9	6,9
6*	29,5	1,92	0,14	37,82	8,32
7	29,5	1,96	0,14	38,12	8,62
8	29,5	2,0	0,14	38,99	9,49
9	29,5	2,04	0,14	37,13	7,63
10	29,5	2,08	0,14	37,33	7,83
11	29,5	2	0,16	39,38	9,88
12	29,5	2	0,18	38,99	9,49
13	29,5	2	0,2	39,38	9,88
14	29,5	2	0,22	38,8	9,4
15	29,5	2	0,14	40,17	10,25

Результати моделювання за матрицею планування експериментів						
1	2	3	4	5	6	
16	29	1,92	0,14	36,25	10,67	
17	30	1,92	0,14	36,9	7,25	
18	29	2,08	0,22	37,9	6,9	
19	30	1,92	0,22	38,11	8,9	
20	29	2,08	0,14	37,04	8,11	
21	30	2,08	0,14	37,72	8,04	
22	29	2,08	0,22	37,23	7,72	
23	30	2,08	0,22	37,92	8,23	
Перевірка нульової гіпотези						
24	29,5	2	0,18	1) 38,99 2) 38,78 3) 38,8 4) 38,77 5) 39,02 6) 39,05	1) 9,49 2) 9,28 3) 9,3 4) 9,27 5) 9,52 6) 9,55	

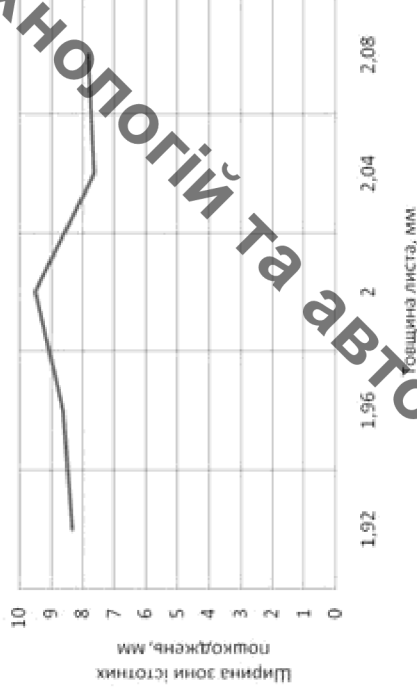
Рівняння регресії без незначних елементів
 Модель адекватна, оскільки $F_p \leq F_{табл}$

$$\hat{y} = 7,88 + 0,22x_1 - 0,41x_2 - 0,31x_2x_3$$

Залежність ширини зони істотних пошкоджень від параметрів вирубної операції



Залежність ширини зони істотних пошкоджень від діаметра вирубного пуансона



Залежність ширини зони істотних пошкоджень від товщини листа

Збільшення діаметра вирубного пуансона призводить до поступового розширення зони істотних пошкоджень та сприятиме поширенню тріщин в деталі "Втулка". Відтак рекомендоване значення розмірів отвору і вирубного пуансону - 29 мм.

З правого рисунка видно, що збільшення товщини листа дещо зменшує ширину зони істотних пошкоджень.
* Під зоною істотних пошкоджень мається на увазі зона заготовки, в якій рівень пошкоджень перевищує 0,1.

Спрощена модель деформування заготовки під час формувальної операції

Скінчено-елементна модель заготовки

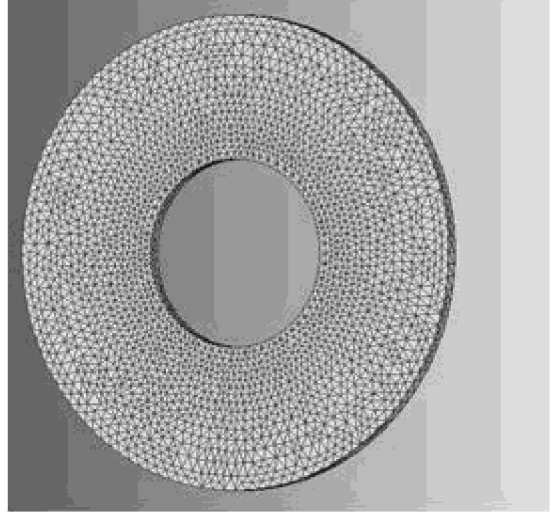
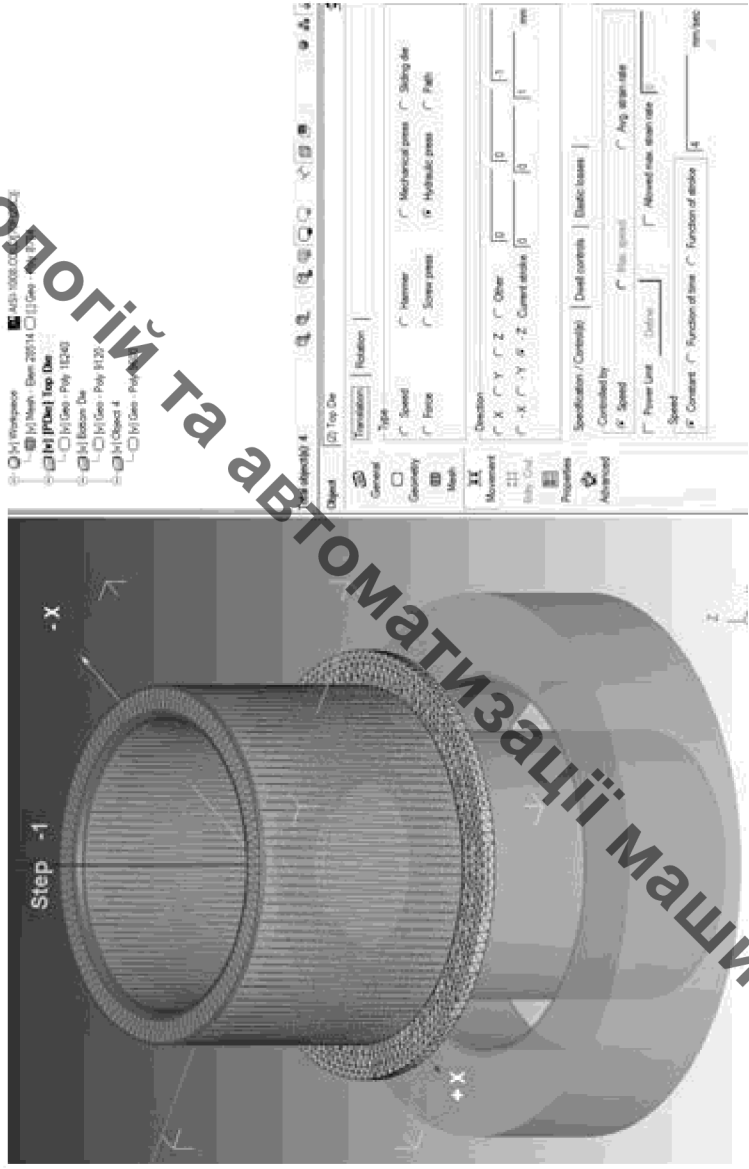


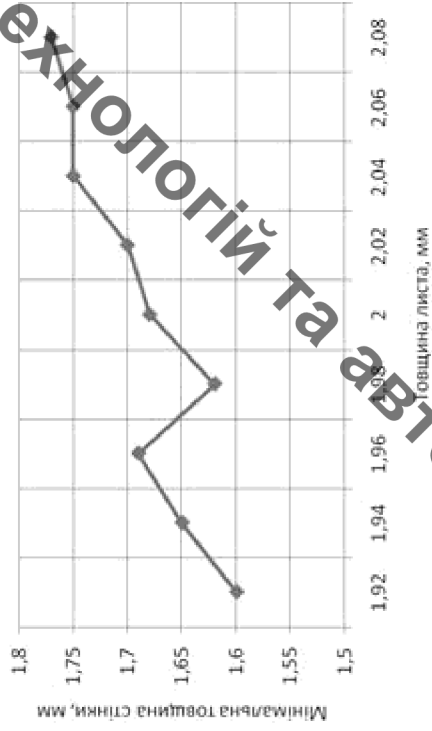
Схема задання руху матриці-пуансона



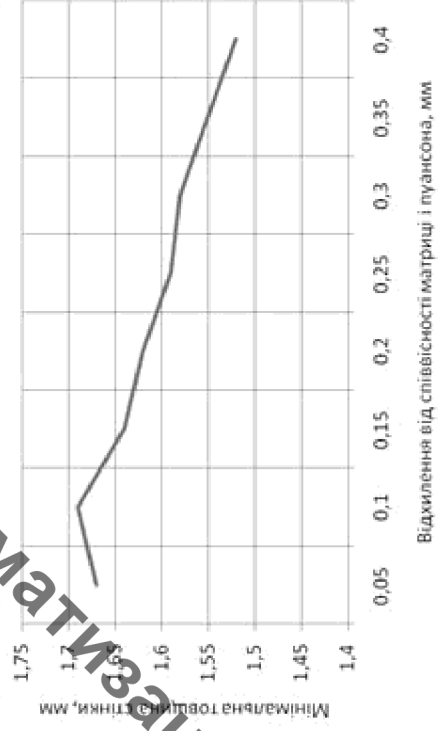
- Параметри заготовки та оснащення:
- Внутрішній діаметр заготовки – 29 мм;
- Зовнішній діаметр заготовки – 64 мм;
- Діаметр формувального пуансона – 39,6 мм;
- Радіус заокруглення на кромці формувального пуансону – 5 мм;
- Односторонній зазор між пуансоном і матрицею – 2,2 мм;

Результати імітаційного дослідження пошкодження товщини стінки від товщини листа і відхилення від співвісності при формувальній операції

№	Товщина листа, м	Відхилення від співвісності, мм	Максимальна пошкодженість деталі	Товщина стінки, мм
1	2	3	4	5
Вплив товщини листа				
1	1,92	0	0,378	1,6
2	1,94	0	0,395	1,65
3	1,96	0	0,377	1,69
4	1,98	0	0,418	1,62
5	2	0	0,369	1,68
6	2,02	0	0,407	1,7
7	2,04	0	0,391	1,75
8	2,06	0	0,39	1,75
9	2,08	0	0,39	1,77
Вплив відхилення від співвісності				
10	2	0,05	0,386	1,67
11	2	0,1	0,391	1,69
12	2	0,15	0,386	1,64
13	2	0,2	0,38	1,62
14	2	0,25	0,395	1,59
15	2	0,3	0,39	1,58
16	2	0,35	0,382	1,55
17	2	0,4	0,387	1,52



Вплив товщини листа на мінімальну товщину стінки деталі "Втулка"



Залежність мінімальної товщини стінки від співвісності матриці і пуансона

Визначення кількості браку

На основі моделювання процесу виробування приймемо, що остаточний рівень пошкоженості матеріалу навколо внутрішнього отвору заготовки становитиме 0,5.

На основі [10,11] та інтенсивності деформацій в процесі витягування можна сказати, що розсіювання величини пошкоженості буде становити близько 0,4 ($\pm 0,2$).

Середнє значення пошкоженості матеріалу заготовки, незалежно від реальної товщини листа та відхилення від співвідношення (не більше 0,2 мм) становить 0,38. Таким чином, в процесі двоопераційної обробки можливі наступні рівні пошкоженості матеріалу заготовки:

Мінімальний: $0,5 + (0,38 - 0,2) = 0,68$;

Максимальний: $0,5 + (0,38 + 0,2) = 1,08$.

Вважатимемо, що пошкоженість деталей в партії розподілиться за нормальним законом. Тоді розрахункова кількість браку для деталі "Втулка" за модернізованим варіантом визначатиметься виразом (математичне очікування $-0,88$, середньоквадратичне відхилення $-0,067$)

$$P_{\text{браку}} = \Phi\left(\frac{(1,08 - 0,88)/0,067}{\sqrt{0,067}}\right) - \Phi\left(\frac{(1 - 0,88)/0,067}{\sqrt{0,067}}\right) = 0,498865 - 0,4641 = 0,034.$$

Таким чином, в покращеному технологічному процесі очікувана кількість браку пов'язаного з тріщинами та надривами становитиме 3,4%. При цьому, брак, пов'язаний з недостатньою товщиною стінки деталі під час нарізання різи, буде відсутній взагалі.

Отже, оскільки за початковими даними кількість браку пов'язана із тріщинами і надривами становила 67% від усіх дефектів та 22% від усієї кількості деталей [2]. Порівняння кількості браку за заводським технологічним процесом та модернізованим на 1000 виробів представлено в таблиці 2.8.

Порівняльний аналіз кількості браку за видами на 1000 виробів

Дефект	Відсоток від всієї партії	Розподіл браку за видами	Заводський технологічний процес	Модернізований технологічний процес
Тріщина	22%	67%	220	34
Відсутність тіла деталі (недостатня товщина стінки) при нарізанні різи	9,2%	28%	92	-
Невідповідність розмірів		3%		
Відсутність проштампованих пуклей	1,6%	2%	16	16
Всього			328	50

Таким чином, загальний рівень браку знизився з 328 деталей на 1000 штук до 50 деталей на 1000 штук, що становить 5% від випуску деталі.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено сучасний стан проблеми підвищення якості виготовлення деталей "Втулка" під час двоопераційної обробки. Побудовано модель процесу та визначено основні параметри операції. Встановлено взаємозв'язок між геометричними параметрами заготовки, матриці, пуансона та пошкодженням матеріалу деталі.

Розглянута методика досліджень та принципові схеми холодного пластичного деформування, які використовуються при вирубуванні та витягуванні вісесиметричних деталей.

Розроблена методика математичного моделювання та розрахунків заготовки за допомогою програми «Deform-3D», яка дозволила виконати дослідження процесів вирубування та витягування вісесиметричних деталей.

На основі математичного моделювання процесу вирубування деталі «Втулка» запропоновано модернізувати розміри та елементи штампової оснастки – діаметр вирубного пуансону 29 мм, зазор між матрицею та вирубним пуансоном – 0,2 мм; допустима неспіввісність витяжної матриці і пуансону – не більше 0,2 мм при зазорі 1,8 мм на стороні, діаметр витяжного пуансона 39,6 мм, радіус його заокруглення – 5 мм.

В результаті підбору геометричних характеристик вирубного штампу та витяжного штампу очікувана кількість браку від тріщин та надривів зменшується з 22% до 3,4%, а брак пов'язаний із недостатньою товщиною стінки - зникне. Всього ж, рівень браку впаде з 32,8% до 5%.

На основі економічних розрахунків було визначено та розраховано кошторис капітальних витрат на вдосконалення параметрів технологічного процесу що складає 64180 грн., на його реалізацію та впровадження – 101873 грн., а також оцінено відносну економічну ефективність інноваційного рішення – 54,6%.

Визначено капітальні витрати на розробку нового технологічного процесу, витрати на основну заробітну плату розробників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію та матеріали, що складає 27379 грн.

В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової роботи, спрогнозовано комерційний ефект від впровадження результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності.

За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової роботи оскільки вона є економічно виправданою, тому що ефективність вкладених інвестицій в проведення наукових досліджень та впровадження їх результатів складає 54% – тому інвестор буде зацікавлений у вкладанні грошей в розробку, а також термін окупності вкладених у розробку і реалізацію проекту інвестицій складає приблизно 1,83 року, що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

Виконано аналіз умови праці, основні принципи конструювання робочого місця та створення сприятливого мікроклімату. Визначено можливий вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів та їх класифікацію.

Приведені заходи по техніці безпеки, їх класифікація та можливі наслідки. Проаналізовано вимоги до обладнання, виробничої санітарії та сприятливого мікроклімату робочого місця. Приведені розрахунки, які визначили ступінь освітленості робочого місця.

Проаналізовано вплив вібрацій, причини виникнення, методи та засоби боротьби з шкідливим фактором. Визначено ступінь пожежної безпеки, евакуаційні виходи та засоби гасіння при надзвичайній ситуації.

Розглянуто вплив іонізуючого випромінювання на систему управління обладнанням та визначеного граничну величину електромагнітного імпульсу.