

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту

Магістерська кваліфікаційна робота  
на тему

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА" ХОЛОДНИМ  
ЛИСТОВИМ 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 і 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 вирубування та наступного витягування вісесиметричної деталі;
- змоделювати процес вирубування 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 холодного пластичного деформування.

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

**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:**

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

Отримано рівняння регресії, яке описує вплив товщини заготовки і зазору на ширину зони пошкодження в процесі вирубування заготовки;

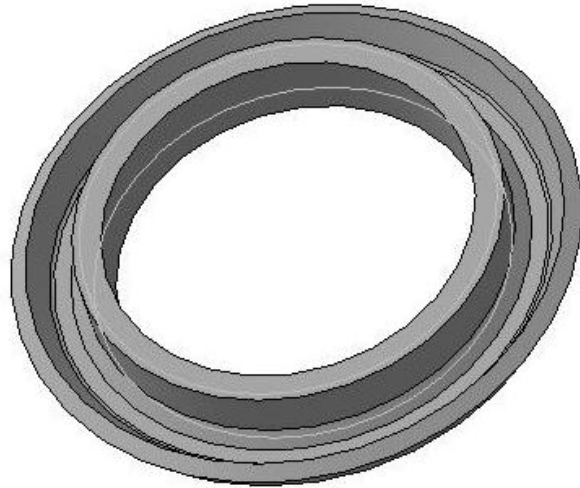
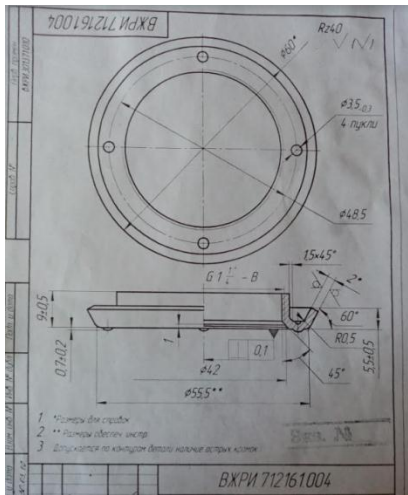
Рекомендовано обмежити відхилення від співвісності матриці і пуансона витяжного штампу величиною не більше 0,2 мм.

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

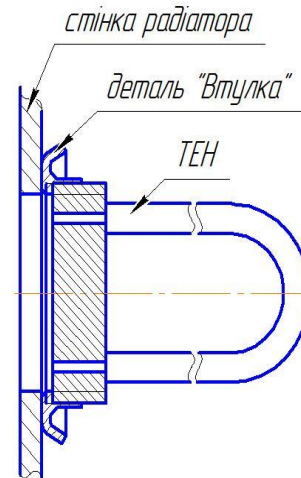
**Апробація результатів.** Основні матеріали роботи доповідались на XLIX науково-технічній конференції ВНТУ, регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників в науково-дослідних організацій та інженерно-технічних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

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

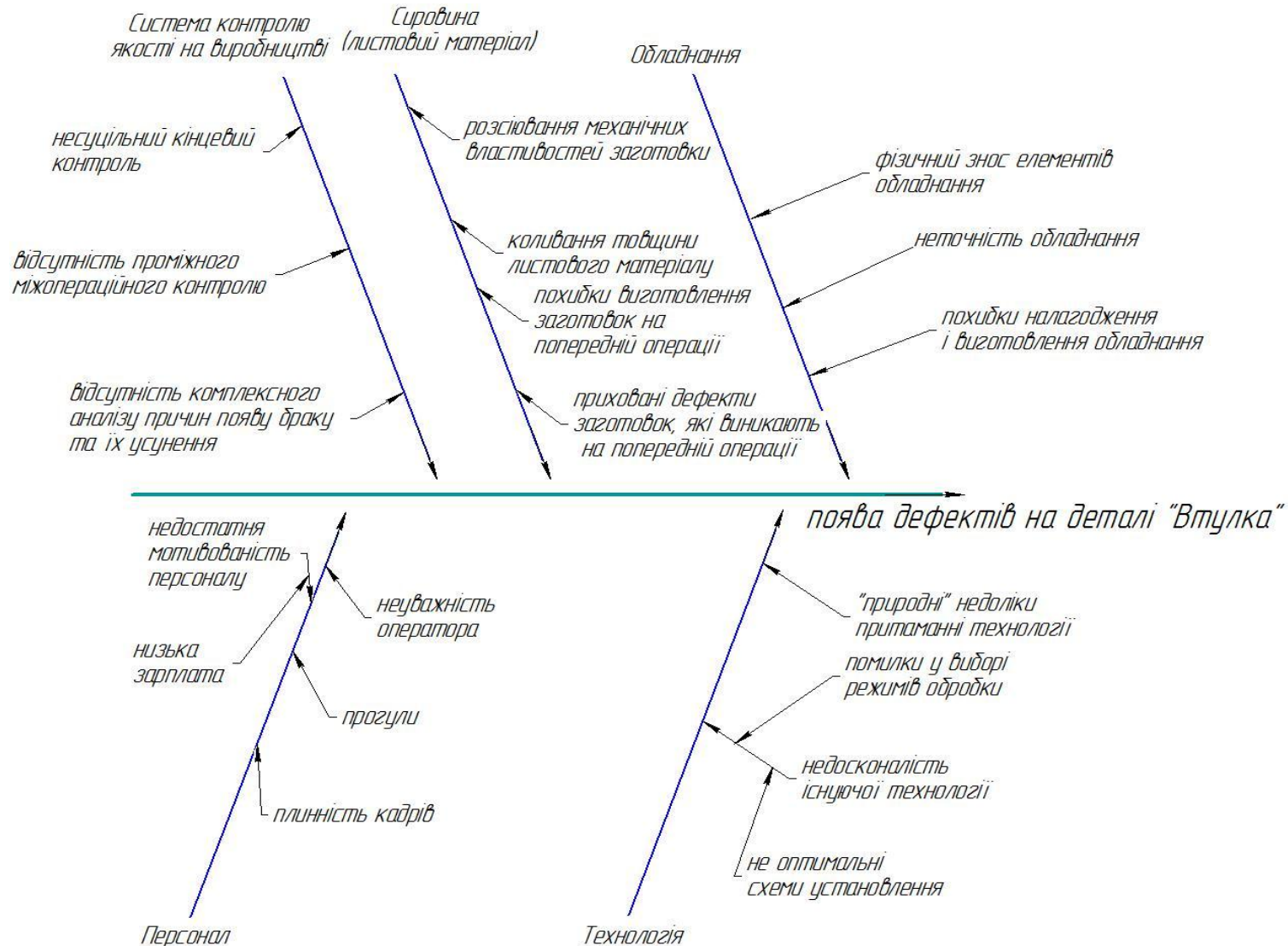
# Заводське креслення, 3Д-модель та фотографія реальної деталі “Втулка”



# Загальний вигляд масляного радіатора та схема використання деталі “Втулка” в ньому



# Причинно-наслідкова діаграма аналізу появи тріщин на деталі “Втулка”



## Базовий технологічний процес

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Хід повзуна	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 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		

## Розподіл типових дефектів на 100 дефектних деталей

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

## Моделювання процесу вирубання

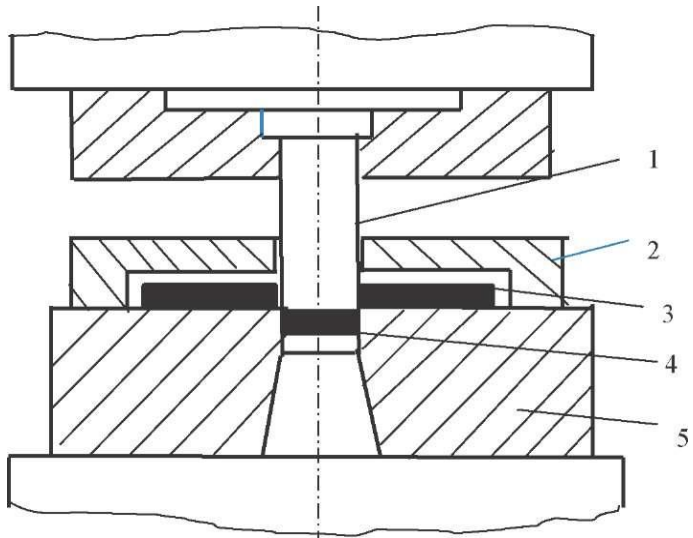
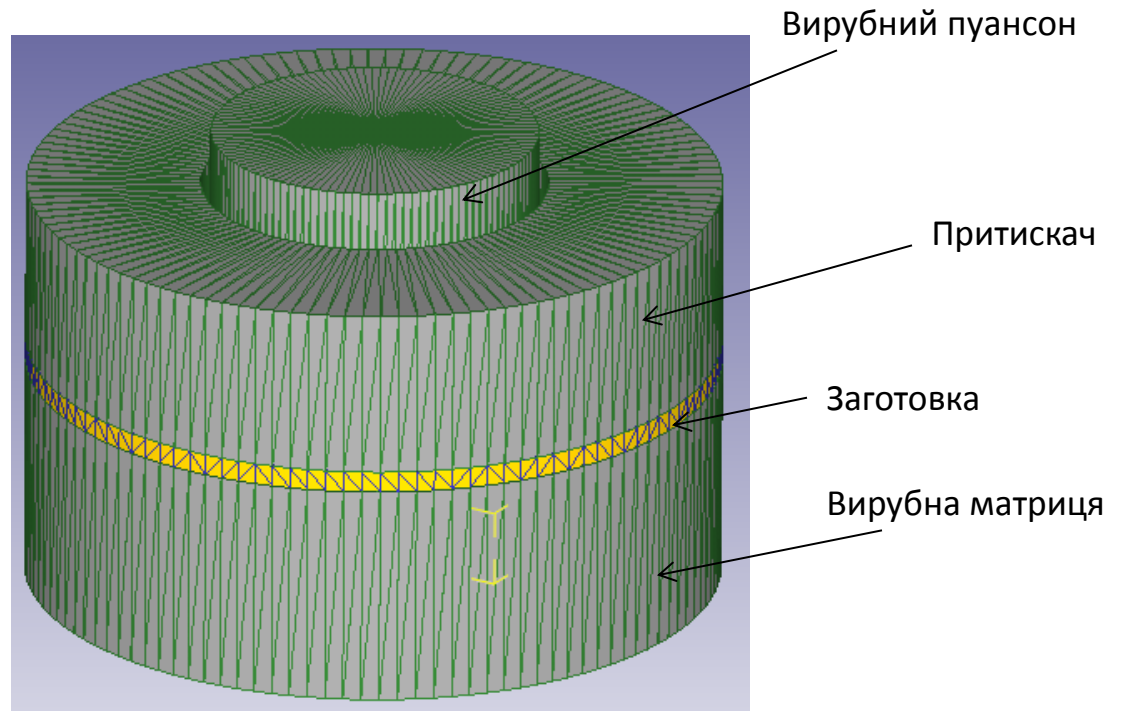


Схема штампа для вирубання і пробивання:  
1 - пуансон; 2 - знімач; 3 - лист (полоса); 4 -  
деталь в разі вирубки, відхід в разі  
пробивання; 5 - матриця



Модель взаємодії оснащення з заготовкою в процесі вирубання

Величини початкових зазорів при виготовленні вирубних 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
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	$d_{np}$ , 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	$d_{np}$ , 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

Матриця планування експерименту

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

Результати розрахунків пошкодженості матеріалу деталі "Втулка" при різних параметрах процесу вирубання (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 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

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

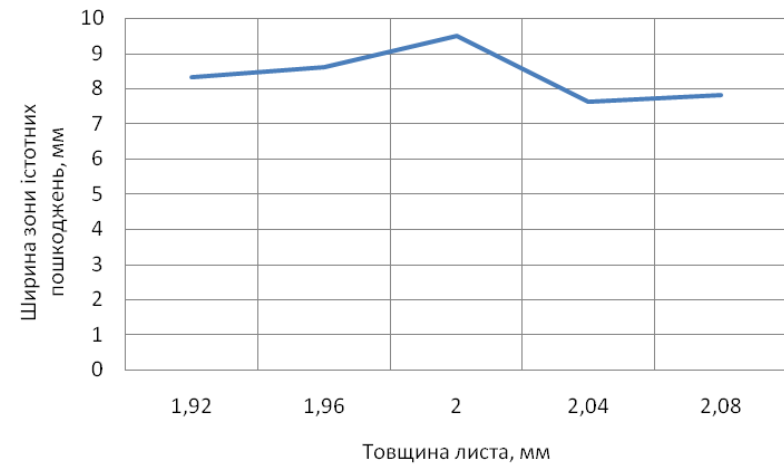
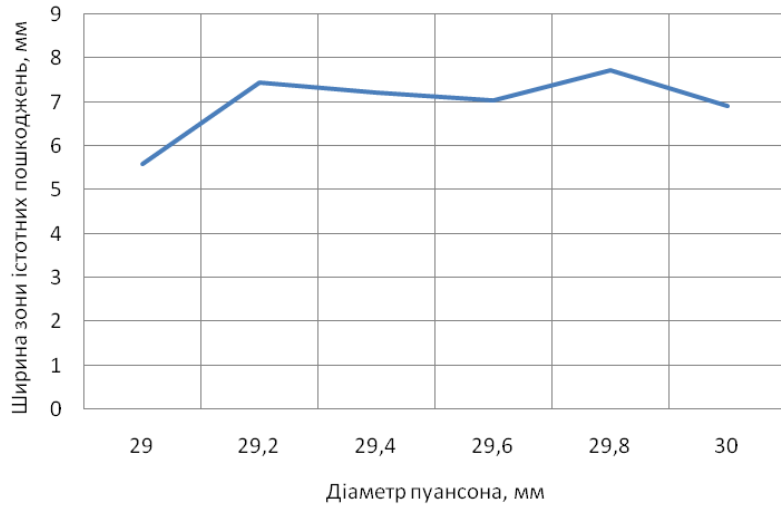
Рівняння регресії без незначних елементів

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

Модель адекватна, оскільки  $F_p \leq F_{табл}$



## 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

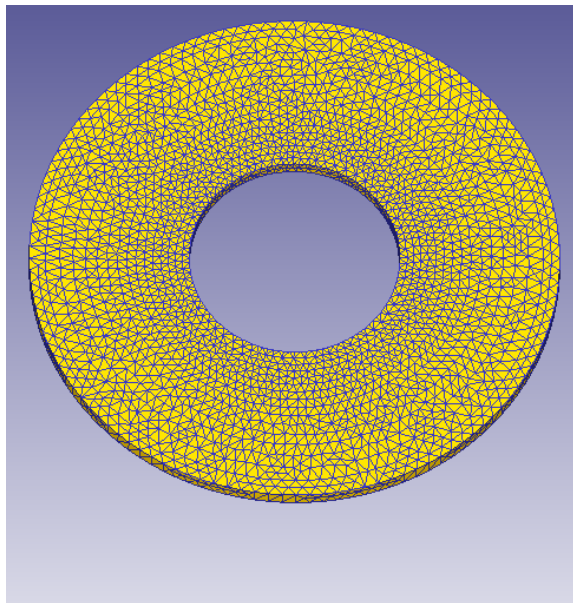
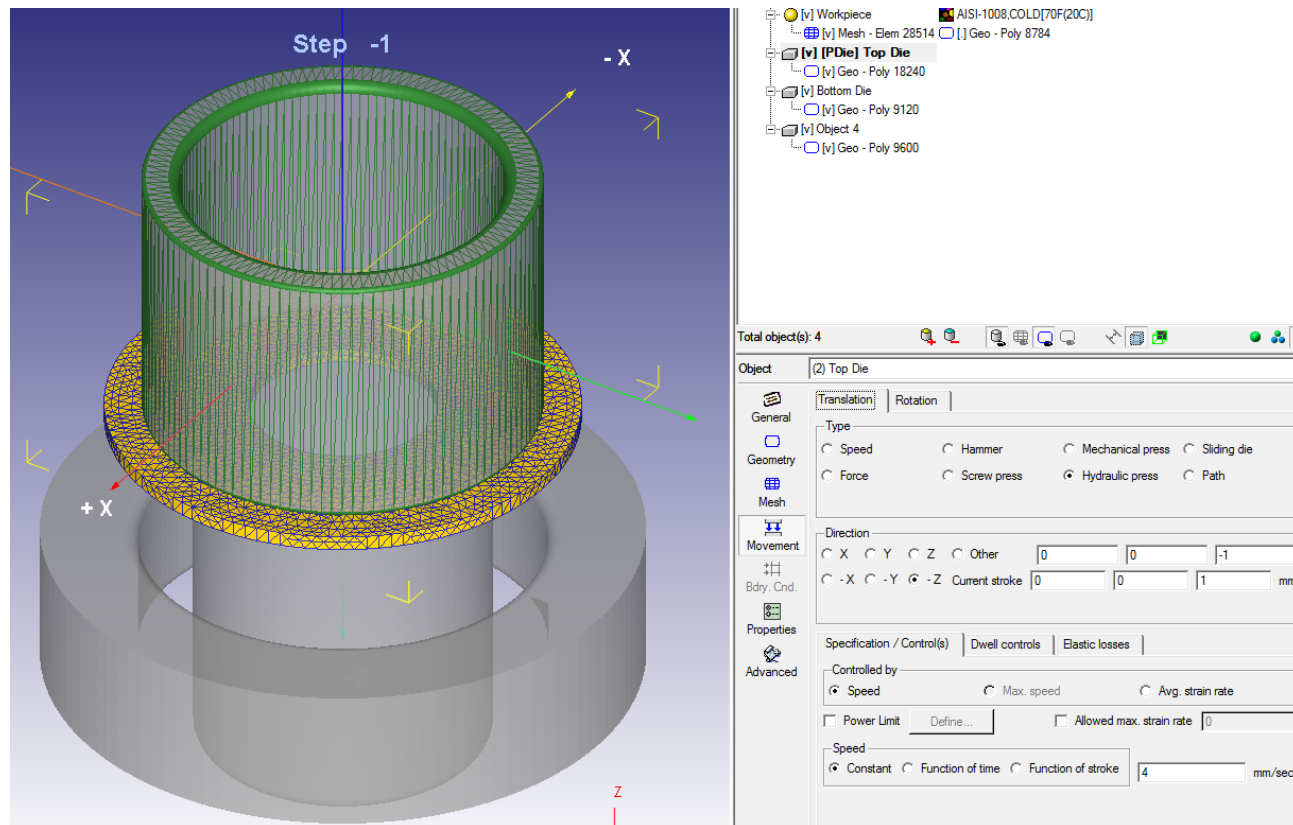


Схема задання руху матриці-пуансона



Параметри заготовки та оснащення:

Внутрішній діаметр заготовки – 29 мм;

Зовнішній діаметр заготовки – 64 мм;

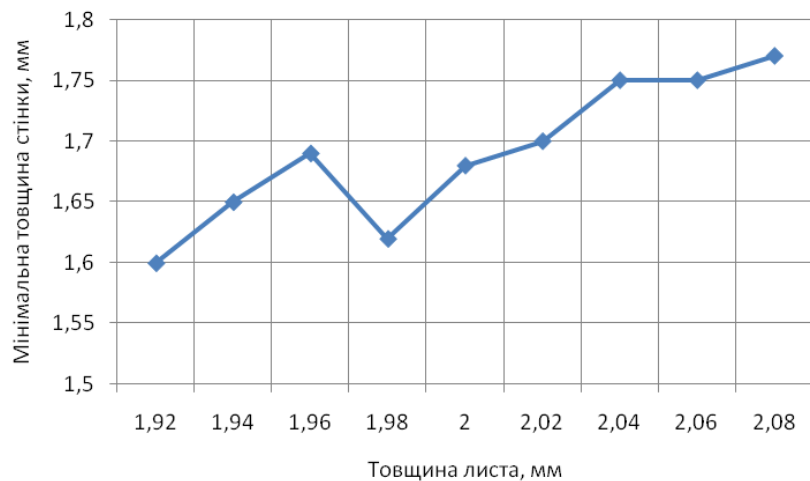
Діаметр формувального пуансона – 39,6 мм;

Радіус заокруглення на кромці формувального пуансону – 5 мм;

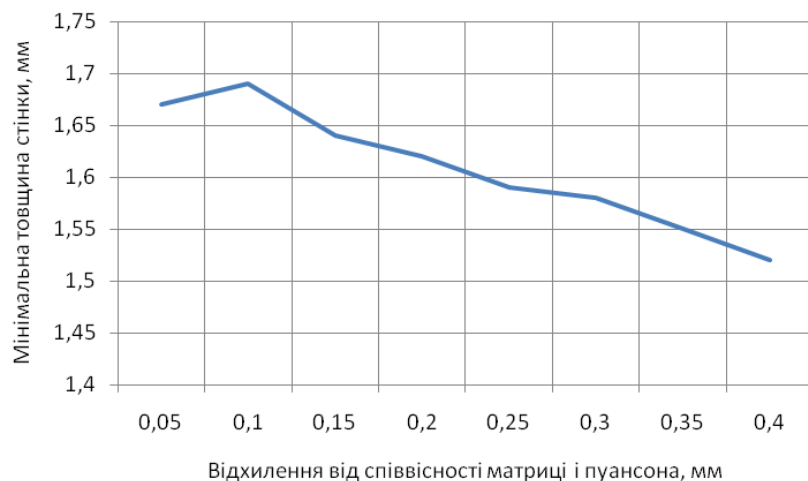
Односторонній зазор між пуансоном і матрицею – 2,2 мм;

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

№	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
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 неспіввісності матриці і пуансона

## Визначення кількості браку

На основі моделювання процесу вирубування 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 ( $\pm 0,2$ ).

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:

$$\text{Мінімальний: } 0,5 + (0,38 - 0,2) = 0,68;$$

$$\text{Максимальний: } 0,5 + (0,38 + 0,2) = 1,08.$$

Вважатимемо, що пошкодженість деталі 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)

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

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.

## 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	1,6%	3%	16	16
Відсутність проштампованих пуклей		2%		
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 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.

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

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

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.

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.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**