

**ВНТУ**

**Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра галузевого машинобудування**

Магістерська кваліфікаційна робота  
на тему:

**«ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ  
ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ  
ВАЛА ЧЕРВ'ЯЧНОГО КОЛЕСА»**

Виконав: ст. гр. 13В-19м

Морозюк В.Ю.

Науковий керівник: к.т.н. доц. Шиліна О. П.

# *Мета роботи:*

**Метою роботи** є розробка ефективної технології відновлення робочих поверхонь валу чев'ячного колеса на основі досліджень впливу параметрів режимів відновлення на величину припуску механічної обробки.

## **Задачі дослідження:**

1. Дослідити на базі математичної моделі вплив матеріалу валу, швидкості обертання валу та стану поверхонь на зносостійкість покриттів .
2. Дослідити вплив режимів процесу наплавлення на величину припуску із застосуванням планування експерименту.
3. Експериментально дослідити мікроструктуру наплавленого металу в перехідній зоні.
4. Провести удосконалення електродугового плазмотрону для напилювання покриттів, що дозволить підвищити довговічність, продуктивність пристрою та можливість регулювання режимів нанесення покриттів.
5. Дослідити конструкцію модернізованого розпилювального пристрою на міцність кінцево-елементним аналізом з метою зменшення маси та розмірів.

**Об'єкт дослідження** – процеси формування припуску на механічну обробку при наплавленні.

**Предмет дослідження** – фактори, що впливають на припуск механічної обробки при наплавленні.

**Наукова новизна:**

1. Досліджено вплив режимів процесу наплавлення на величину припуску механічної обробки методом планування експерименту із застосуванням дробового факторного плану.

2. На основі діагностичного математичного апарату отриманої моделі зносостійкості покриттів показано, що такі фактори як: матеріал валу; швидкість обертання валу; стан поверхонь валу зі збільшенням в інтервалі досліджень, впливають на зносостійкість покриттів.

3. Подальший розвиток отримало дослідження на міцність кінцево-елементним аналізом конструкції розпилювального пристрою з метою зменшення маси та розмірів.

## **Практичне значення** отриманих результатів полягає в:

1. Удосконаленні електродугового плазмотрону для напилювання покриттів, з метою підвищення довговічності, продуктивності пристрою та можливість регулювання режимів нанесення покриттів.
2. Експериментальному дослідженні мікроструктури наплавленого металу в перехідній зоні
3. Розробці технологічного процесу відновлення з використанням плазмового напилювання, що забезпечує довговічність експлуатаційних характеристик робочих поверхонь.
4. Проведені автором дослідження та розроблені рекомендації дозволили розробити устаткування з числовим програмним керуванням, яке може бути використане при модернізаціях інших підприємств по відновленню зношених робочих поверхонь деталей

# Дефектування валу чер'ячного колеса з використанням багатофакторного експерименту

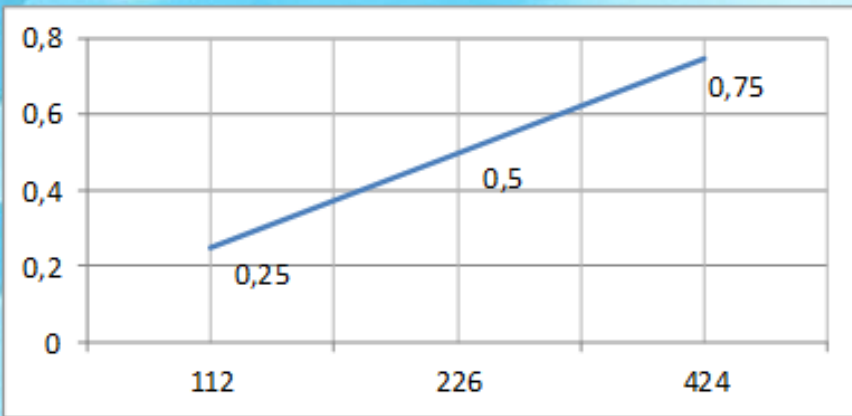
Для дослідження обрано такі фактори:

- матеріал валу;
- швидкість обертання валу;
- стан поверхонь валу

Після коректування рівняння регресії була отримана математична модель залежності зносостійкості покриття від швидкості обертання валу:

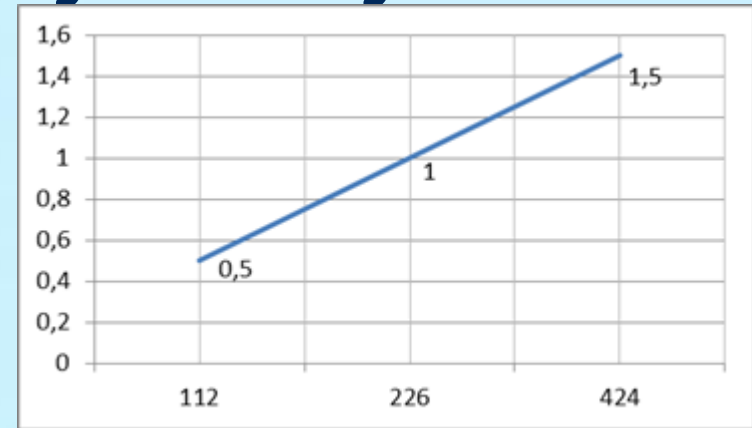
$$Y = 0.63 - 0.028X_1 - 0.047X_2 - 0.055X_3 + 0.022X_1X_2 + 0.03X_1X_2X_3.$$

# Вплив швидкості обертання валу на величину зносу



з мастилом:

1) 112 м/хв; 2) 226 м/хв; 3) 424 м/хв



без мастила:

1) 112 м/хв; 2) 226 м/хв; 3) 424 м/хв

Аналіз отриманої моделі показав, що всі обрані фактори, зі збільшенням в інтервалі досліджень, впливають на зносостійкість покриттів в сторону її підвищення, оскільки коефіцієнти в рівнянні регресії, яке моделює процес зношування, від'ємні.

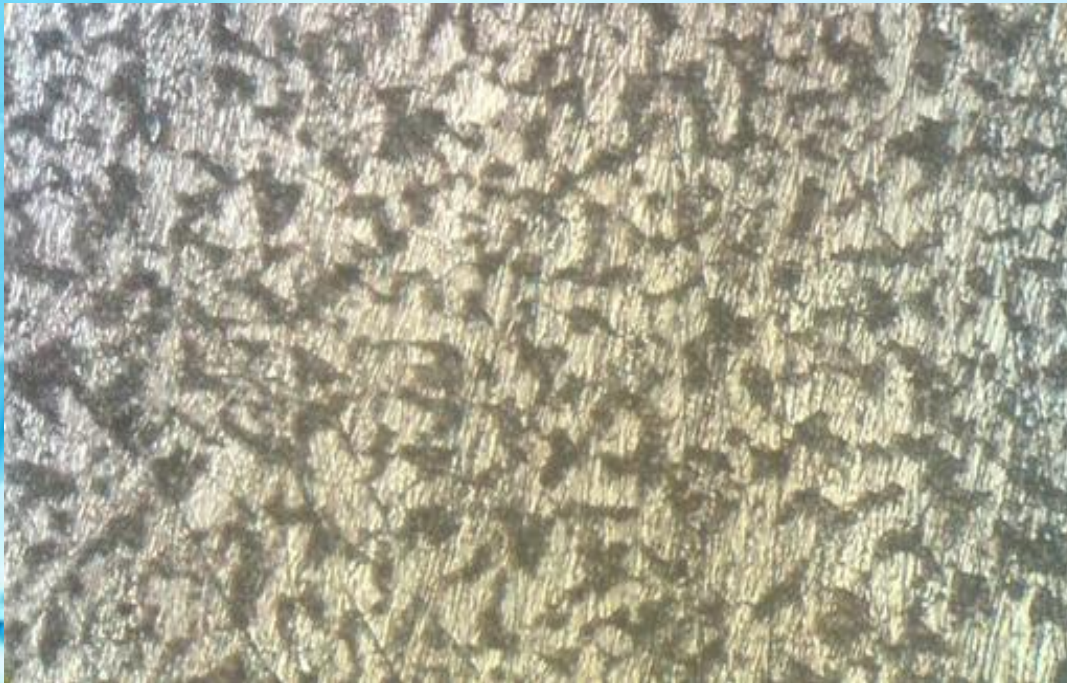
# Дослідження мікроструктури металу деталі «вал» після наплавлення

**Метою дослідження** є експериментальне визначення мікроструктури наплавленого металу в зоні переходу до основного металу.

Макрошліфи зразків наплавленого металу. Наплавлення електродом УОНІ 13/55

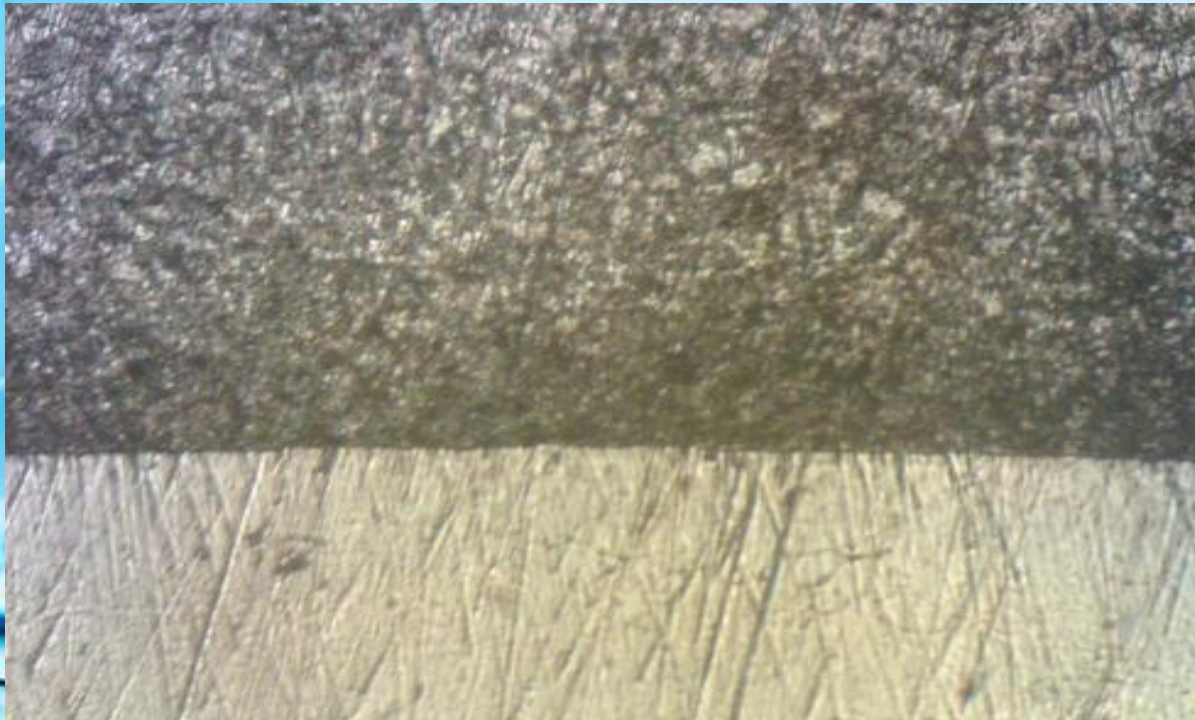


Мікроструктура основного металу в зоні термічного впливу при наплавленні під шаром флюсу електродом УОНИ, x150





Мікроструктура зони сплавлення шару металу, що утворилась після наплавлення під шаром флюсу електродом УОНИ: х 150.



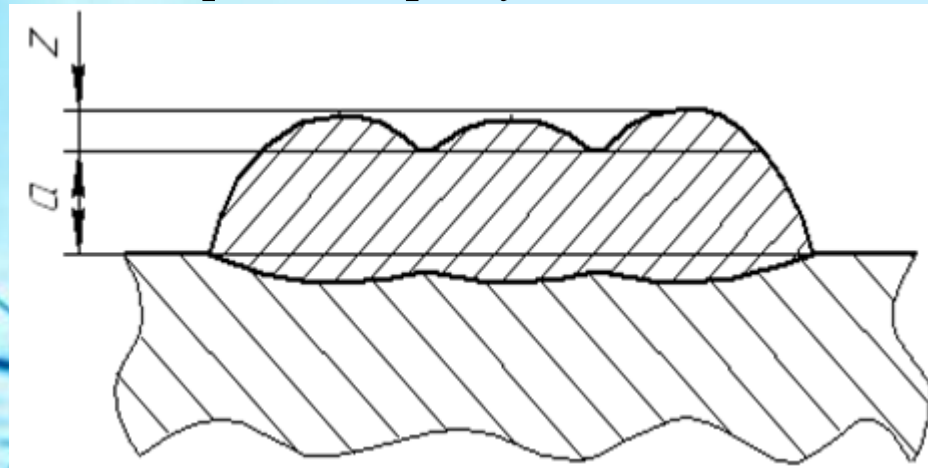
Мікроструктурний аналіз показав, що утворився наплавлений шар, який практично не піддається труїнню ніталем (5%  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті). Товщину зони переходу від покриття до основного металу неможливо виявити стандартним травником. Проте гранична лінія є тонкою та рівною, що свідчить про протікання дифузійних процесів, сповільнених спаданням градієнта температур при кристалізації наплавленого покриття.

**Висновок:** з отриманих даних можна зробити висновок що при наплавленні вугцевої сталі електродами можна отримати в'язку серцевину з наплавленими шарами високої якості та експлуатаційними властивостями

## Вплив елементів режиму наплавлення на величину припуску на механічну обробку

До основних факторів, що визначають припуск, належать: конфігурація деталі та її розміри, матеріал деталі, технологія і точність виготовлення, технічні вимоги до якості обробки поверхонь, структура технологічного процесу обробки деталі і точність її встановлення під час базування.

Припуск має бути оптимальним, тобто таким, який би гарантував виконання потрібної механічної обробки відповідно до креслень та технічних умов при мінімальній витраті матеріалу і найменшій собівартості деталі



де  $a$  – висота наплавленого шару,  $z$ - припуск на мінімальну обробку.

## Параметри, які найбільше впливають на геометрію наплавленого шару:

- швидкість подачі дроту конструктивно пов'язана із швидкістю наплавлення;
- збільшення діаметра електродного дроту прямопропорційно збільшує площу перерізу наплавленого валика.

Як варіативні параметри приймемо:

- швидкість наплавлення  $v_n$ ,
- напруга на дузі  $U$ ;
- крок наплавлення  $t$ .

Для розв'язання даної задачі була розроблена математична модель, яка описує вплив визначених параметрів ( $v_n$ ,  $U$ ,  $t$ ) на геометрію наплавленого шару ( $a$ ,  $z$ ).

# Інтервали варіювання та рівні факторів впливу на геометрію наплавленого шару

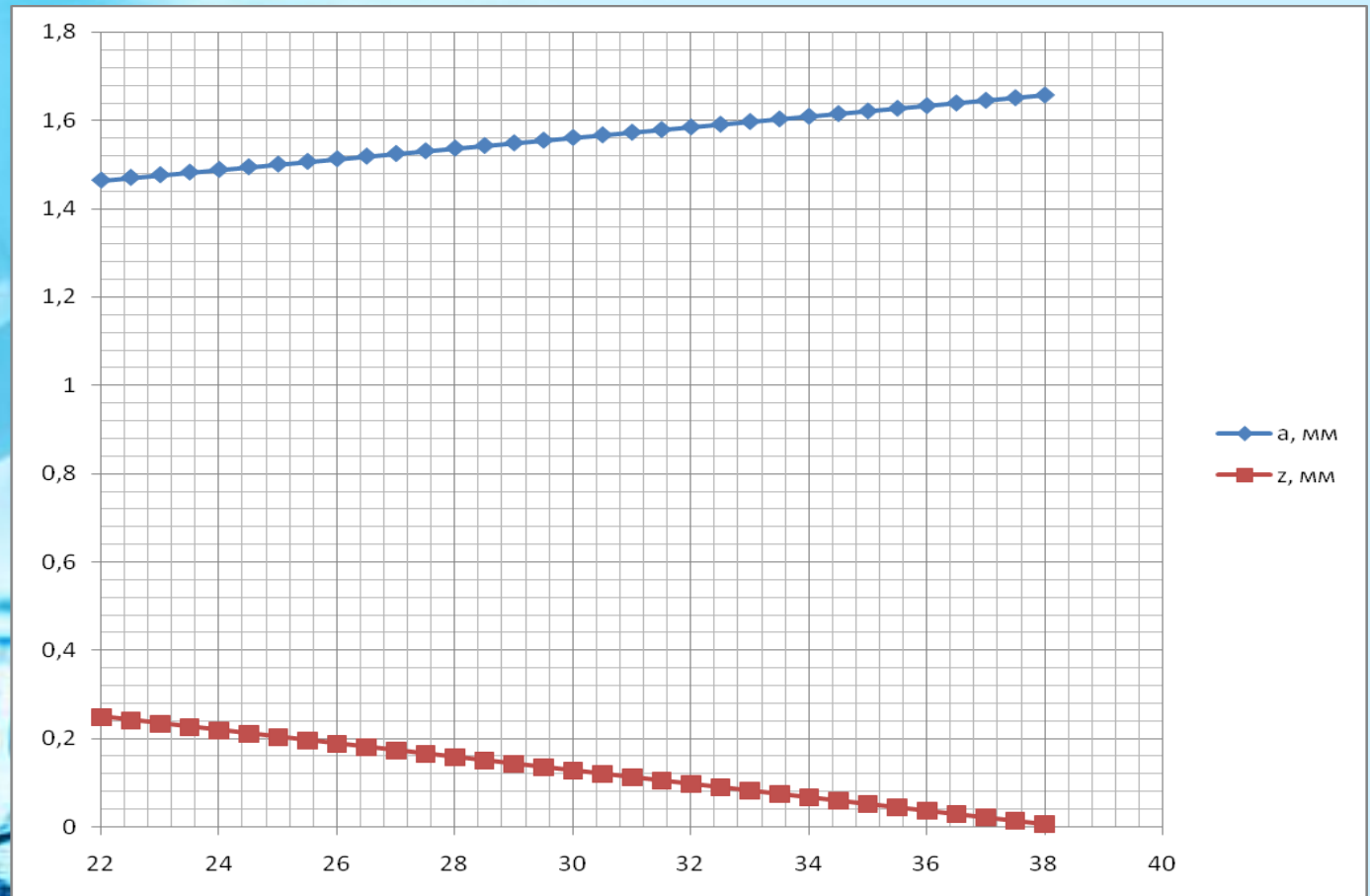
Фактори	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
		основн. 0	верхн. +1	нижн. -1
$x_1$ – напруга на дузі, В	8	30	38	22
$x_2$ – швидкість наплавлення, м/хв	2	5	7	3
$x_3$ – крок наплавлення, мм/об	1,75	4,55	6,3	2,8

## Рівняння регресії

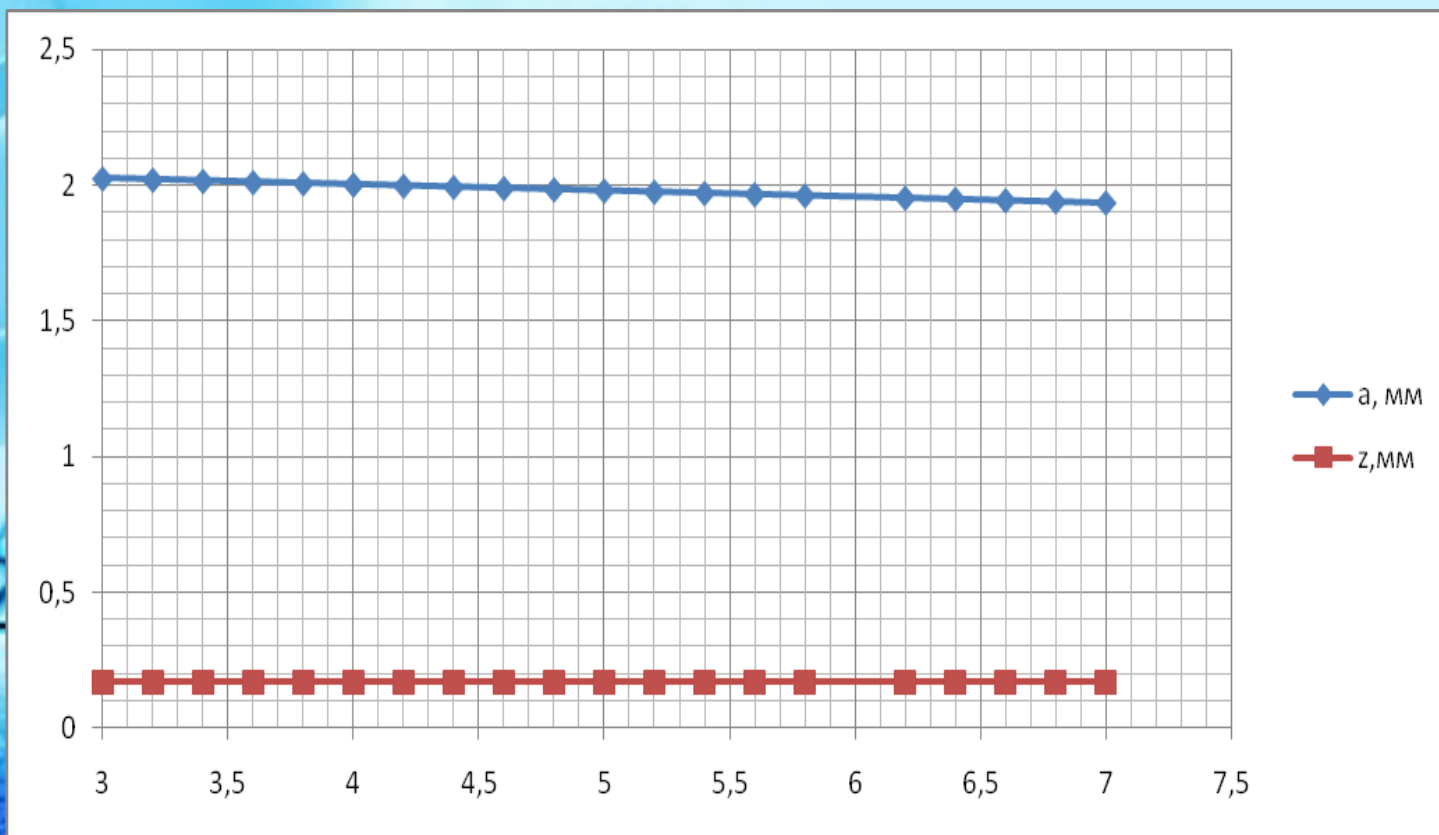
$$y_a = 2,1 - 0,359 \cdot x_2 - 0,296 \cdot x_3 - 0,264 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,204 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,041 \cdot x_3^2$$

$$y_z = 0,523 + 0,203 \cdot x_1 + 0,172 \cdot x_3 + 0,131 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,111 \cdot x_3^2$$

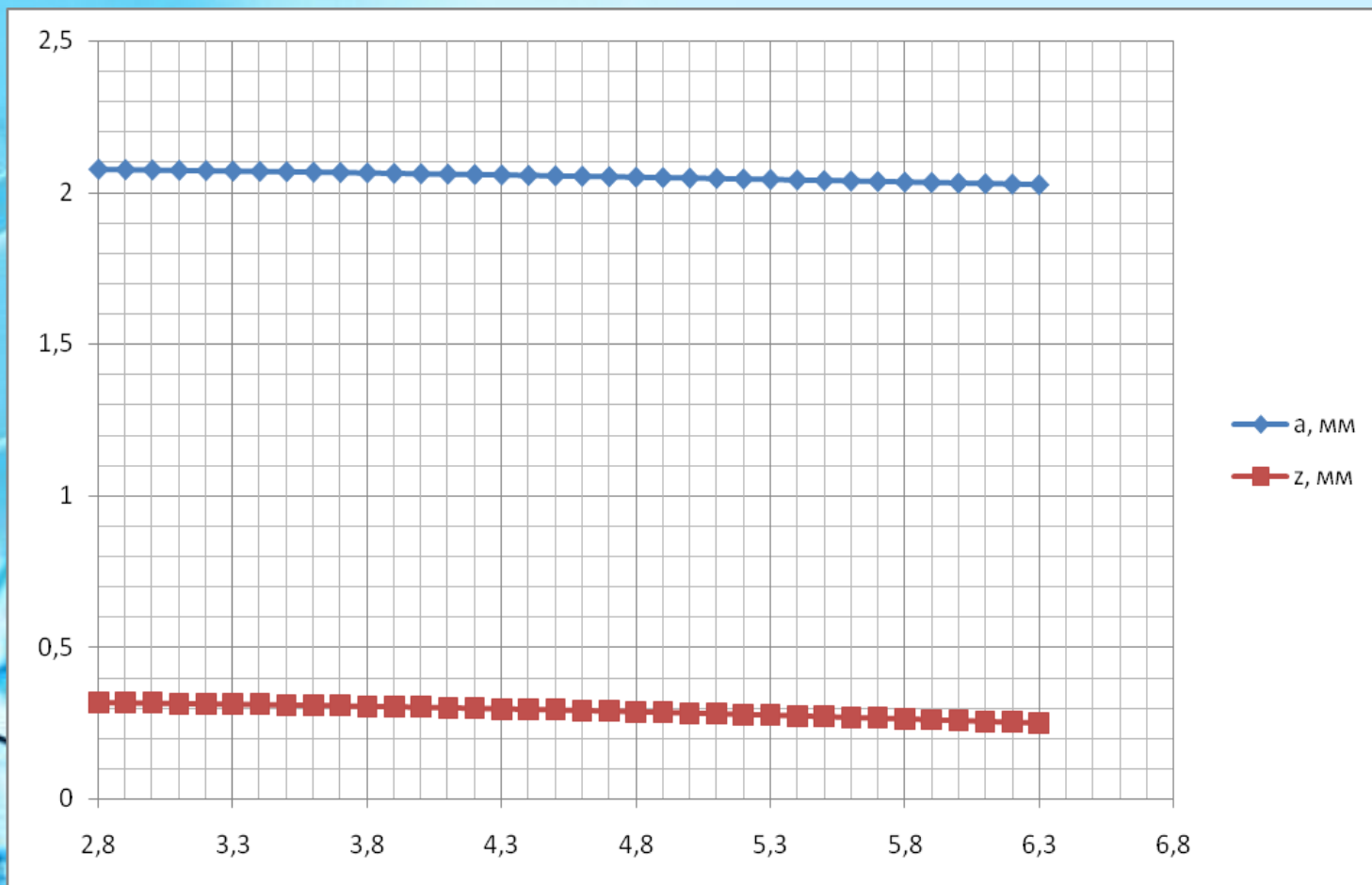
# Залежність припуску $z$ та товщини наплавленого шару $a$ від напруги.



# Залежність припуску $z$ та товщини наплавленого шару $a$ від швидкості наплавлення



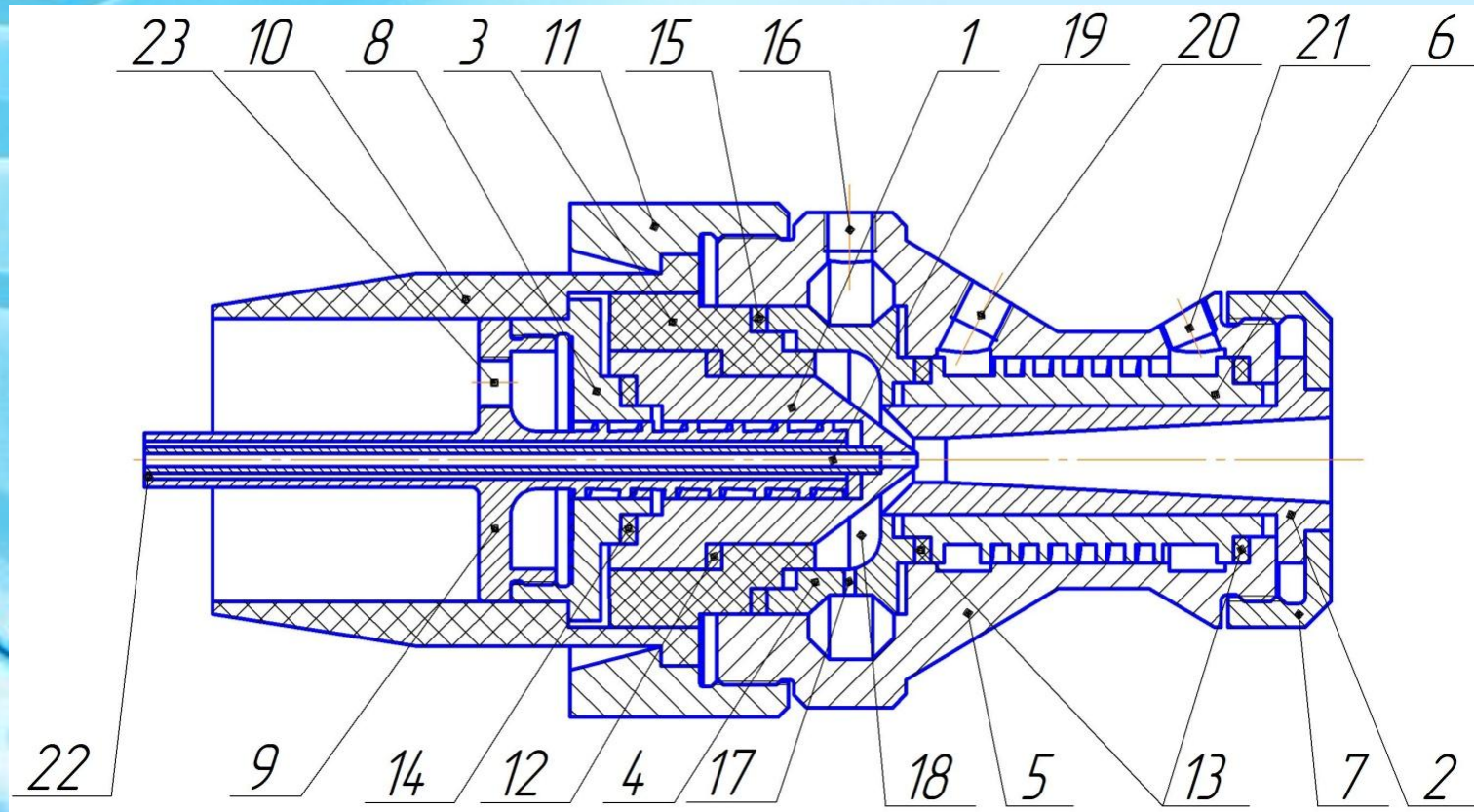
# Залежність припуску $z$ та товщини наплавленого шару $a$ від кроку наплавлення.



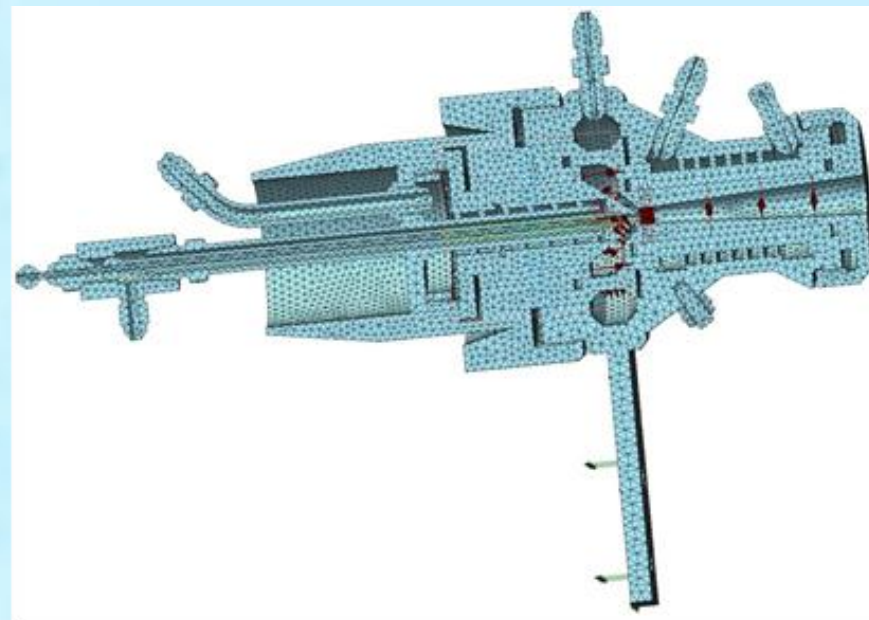
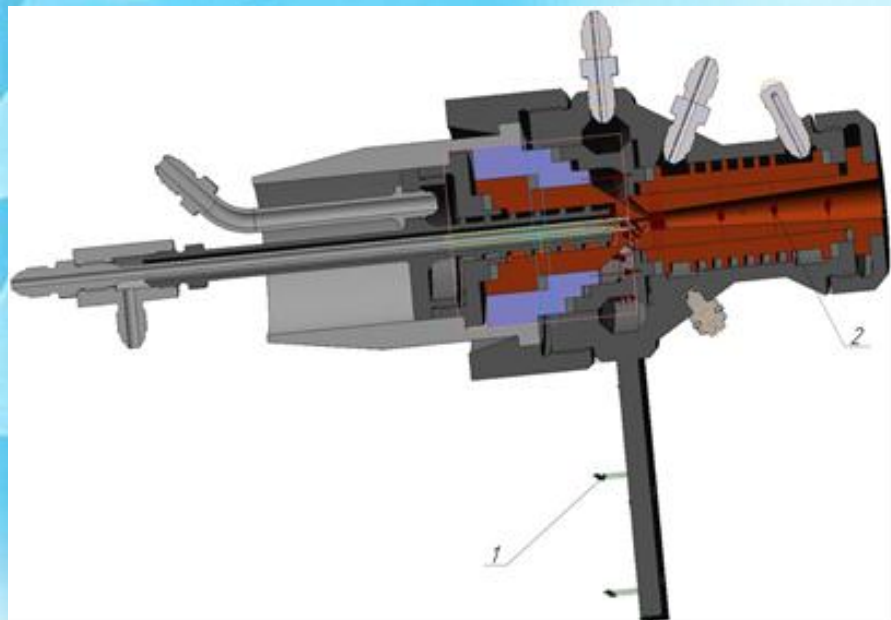


1. Методом планування експерименту із застосуванням дробового факторного плану досліджено вплив режимів процесу наплавлення на величину припуску механічної обробки. До уваги прийняті такі елементи режиму наплавлення, які змінювались в межах: напруга – 22...38 В, швидкість наплавлення – 3...7 м/хв та крок наплавлення – 2,8 ... 6,3 мм/об.
2. Встановлено, що на величину припуску впливають напруга, швидкість та крок наплавлення. Із їх збільшенням припуск на механічну обробку зменшується.

# Схема электродугового плазмотрона

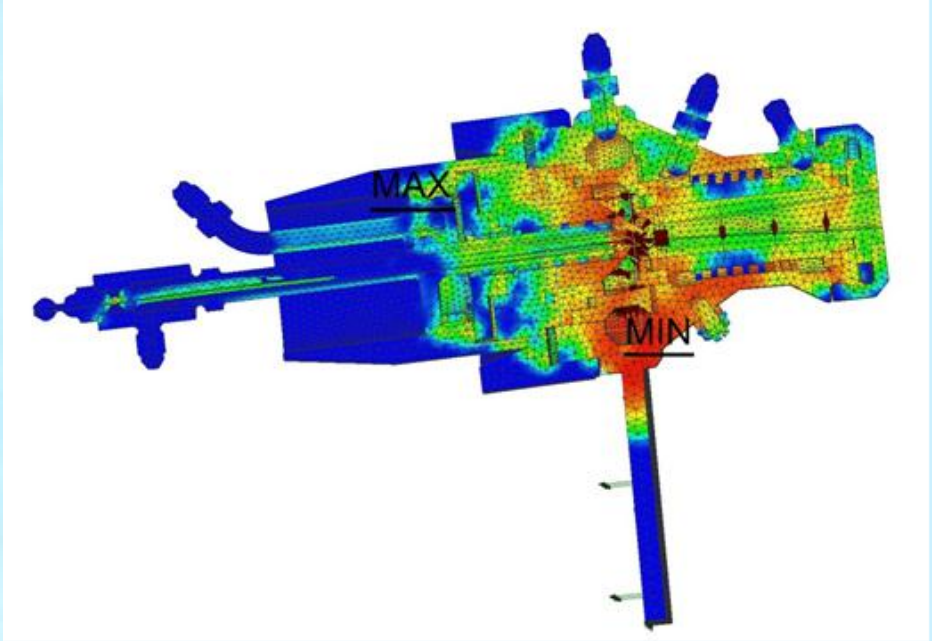
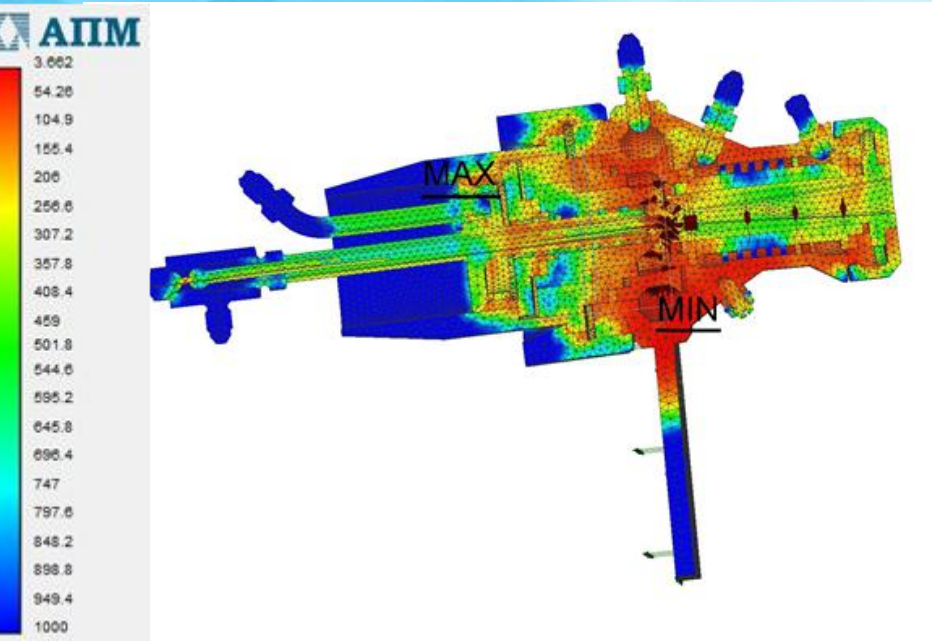


# Комп'ютерний аналіз міцності плазмотрону



**Закріплення та навантаження поверхонь плазмотрона на які діють навантаження:  
1 – закріплення конструкції; 2 – поверхні на які діє навантаження (1МПа)**

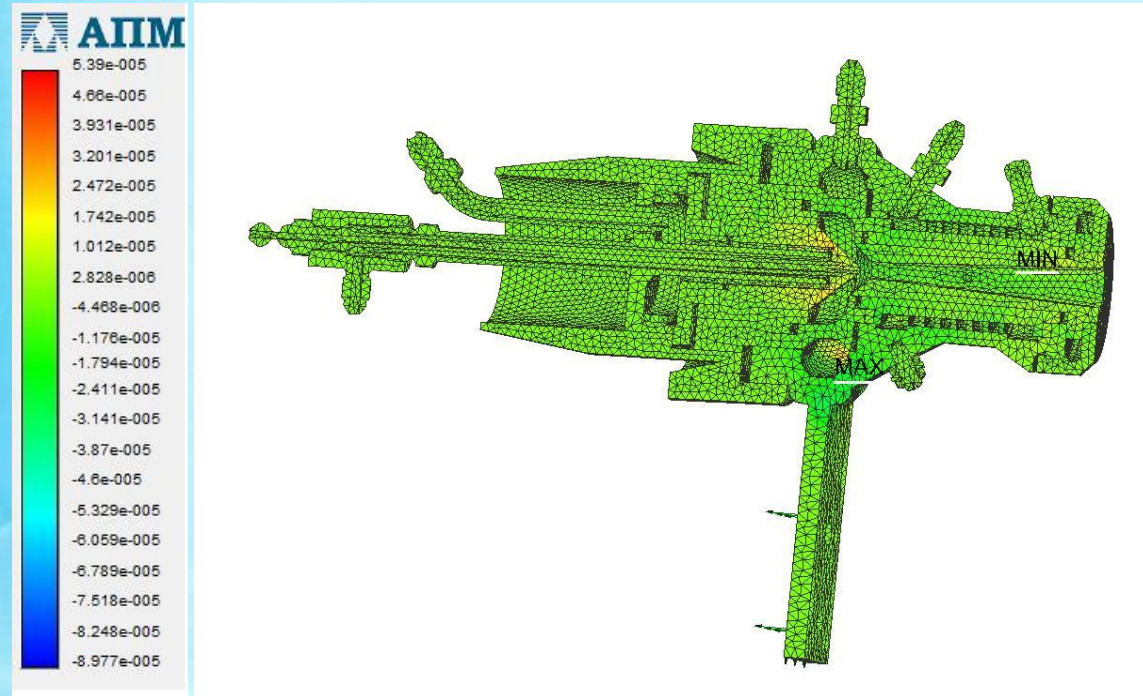
**Згенерована сітка кінцевих елементів**




Розподілення коефіцієнту запасу текучості

Розподілення коефіцієнту запасу міцності

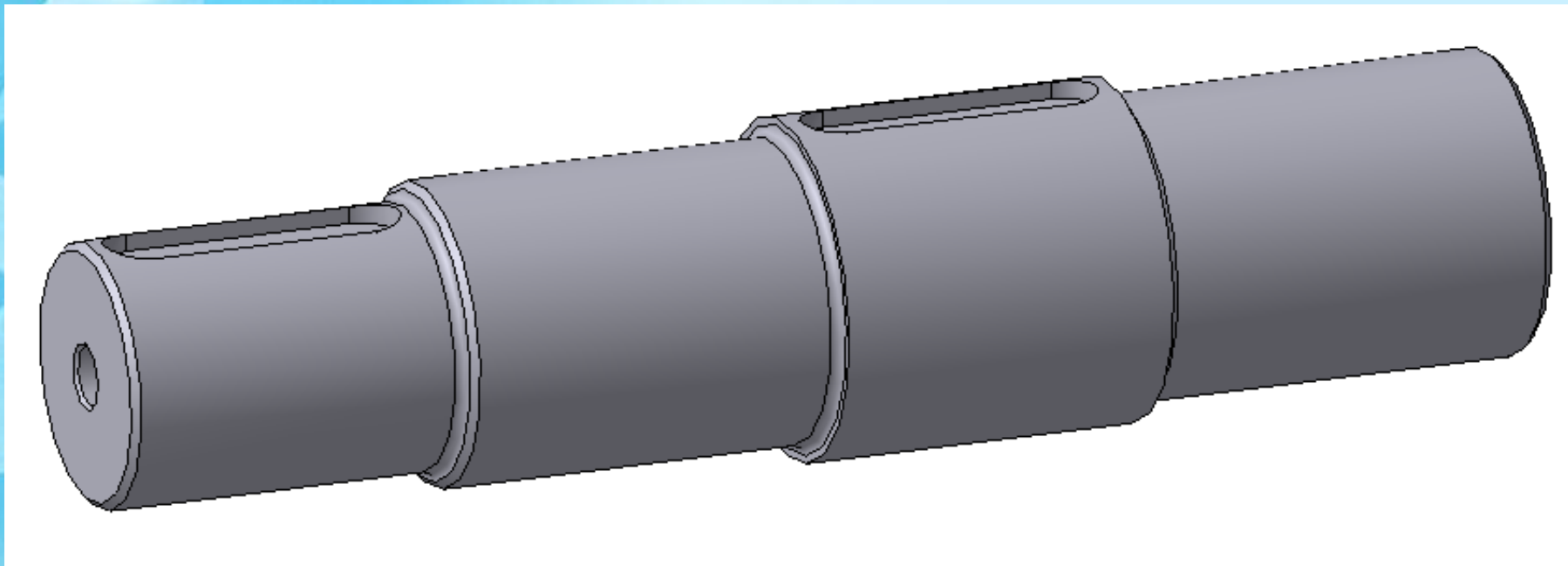
# Розподілення коефіцієнту деформації



**Застосувавши кінцево-елементний аналіз для дослідження конструкції розпилювального пристрою на міцність встановили, що конструкція має суттєві резерви по зменшенню маси та розмірів, що буде виконано під час модернізації.**



РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ  
ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛУ  
ЧЕРВ'ЯЧНОГО КОЛЕСА

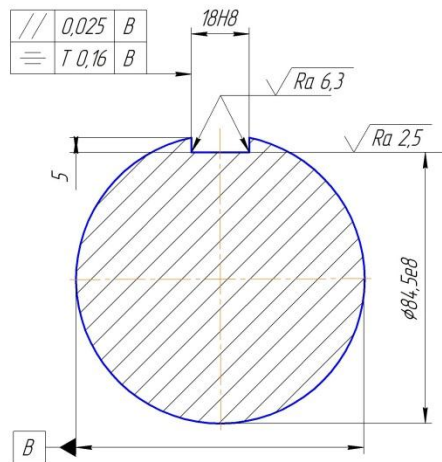
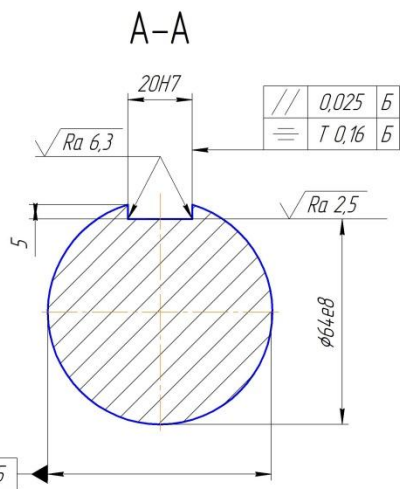
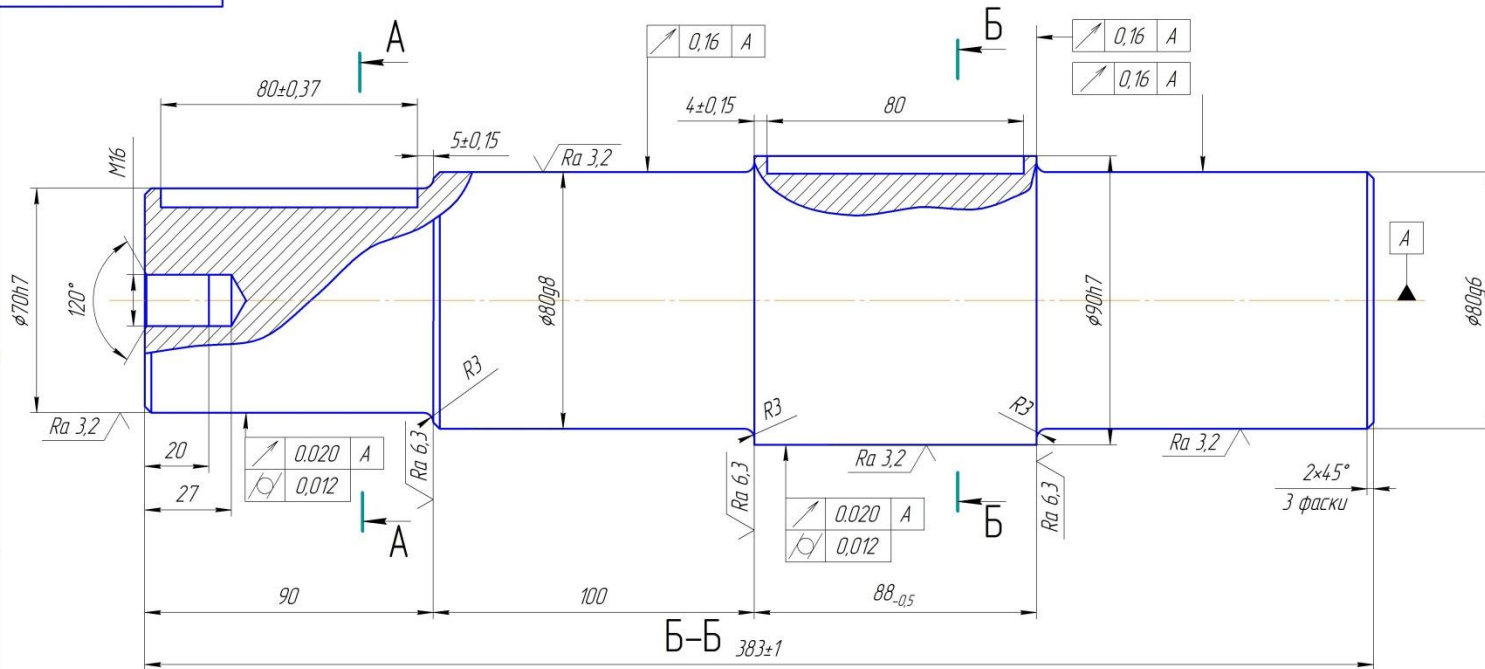


***3D – модель вала черв'чного колеса***

# РОБОЧЕ КРЕСЛЕННЯ

08-27.МКР.005.0100.000

√ Ra 12.5 (√)



1. HRC 35...45
2. H14, h14, ± IT14/2

08-27.МКР.005.0100.000					Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	4		
Разраб.	Морозюк В.В.						
Проб.	Шилна О.П.						
Т.контр.							
Н.контр.	Венфельд В.И.						
Этб.	Полещук Л.К.						
Вал червячного колеса					Лист	Листов	
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71					ВНТУ, зр.ЗВ-19м		

Перш. пошук

Сторін. №

Листів у альбомі

Листів у альбомі

Всього листів №

Листів у альбомі

Листів у альбомі



Таблиця 1.1- Хімічний склад у % матеріалу Сталь 40X ГОСТ 1050–88

Найменування	Значення
Вміст азоту (N) , %	0..0,008
Вміст кремнію (Si), %	0,17..0,37
Вміст марганцю (Mn), %	0,5..0,8
Вміст міді (Cu), %	0..0,3
Вміст нікелю (Ni), %	0..0,3
Вміст сірки (S), %	0..0,035
Вміст вуглецю (C), %	0,36..0,44
Вміст фосфору (P), %	0..0,035
Вміст хрому (Cr), %	0,8..1,1

Таблиця 1.2 Механічні властивості Сталі 40X ГОСТ 1050–88

Найменування	Значення	Контекст
Відносне звуження , %	4,5	гартування 860°C (масло) + відпуск 500°C (вода)
Відносне подовження після розриву , %	10	гартування 860°C (масло) + відпуск 500°C (вода)
Густина , кг/м <sup>3</sup>	7850	
Межа міцності , МПа	980	гартування (масло) + відпуск 500°C (вода)
Межа текучості , МПа	785	гартування 860°C (масло) + відпуск 500°C (вода)
Зварюваність	Важкозварна	
Твердість по Бріннелю , HB	217	відпал
Температура кування , °C	1250..800	
Флокеночутливість	чутлива	

Температура критичних точок матеріалу Сталь 40X  
 $A_{c1}=743$ ,  $A_{c3}$  ( $A_{cm}$ )= $815$ ,  $A_{r1}=693$

Таблиця 1.3- Характеристика матеріалу Сталі 40X ГОСТ 1050–88

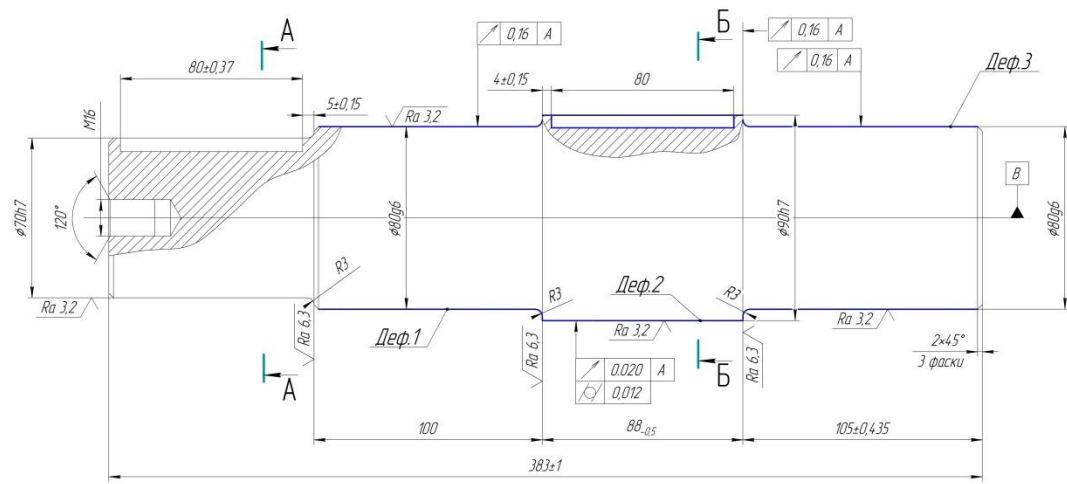
Марка сталі	Сталь 40X
Замінник	Сталь 45X, Сталь 38XA, Сталь 40XH
Класифікація	Сталь конструкційна легована. Хромиста
Застосування	Шестерні, вали-шестерні, штоки, осі, плунжери, колінчаті і кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправки, рейки, шпинделі, кільця, болти та інші деталі з підвищеною твердістю.

# Вуглецевий еквівалент сталі 40Х

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{4}$$

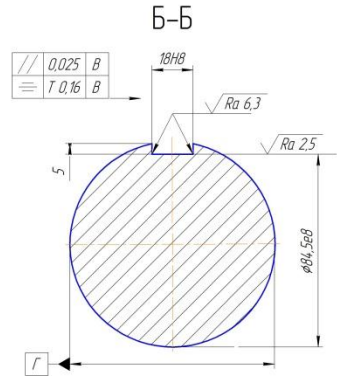
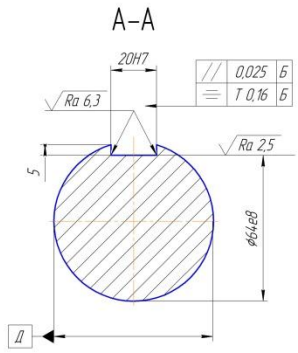
$$C_e = 0,36 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,2}{24} + \frac{0,1}{40} + \frac{0,8}{5} = 0.6138 \text{ (\%)}$$

Для уникнення появи мікротріщин та кращого з'єднання матеріалу, що наноситься з основою рекомендується здійснювати підігрів деталі перед наплавленням до 200–250°C.



№ Деф	Найменування дефекту	Коефіцієнт підпорядкованості		Основний спосіб усунення дефекту	Допустимий спосіб усунення дефекту
		Від загальної кількості деталей поступилих на верифікування	Від загальної кількості ремонтів - придатних деталей		
	Знос 1 циліндричної поверхні валу до розміру 79 мм	0,6	0,8	Плазмове наплавлення порошком	Наплавка в вуглекислому газі
	Розділення 2 отвору під шпанку	0,3	0,6	Наплавка в вуглекислому газі	Фрезерування в іншому місці
	Знос 3 циліндричної поверхні валу до розміру 79 мм	0,6	0,8	Плазмове наплавлення порошком	Наплавка в вуглекислому газі

\*Відновленню не підлягають деталі, що мають тріщини та сколи

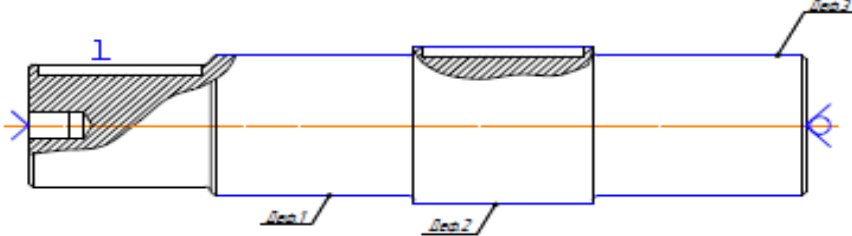
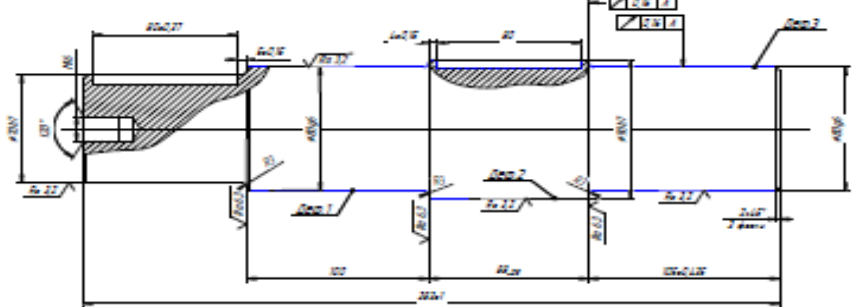
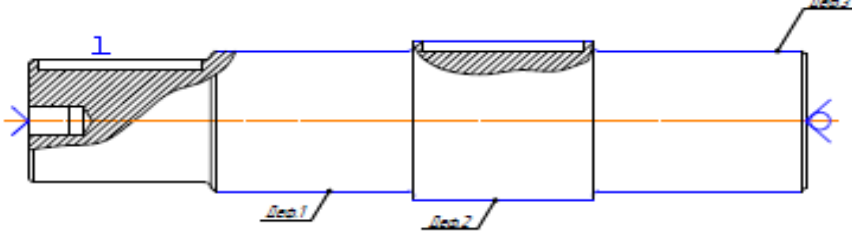


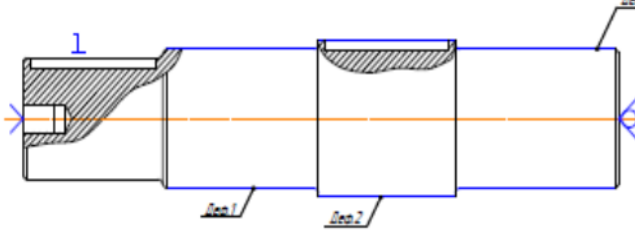
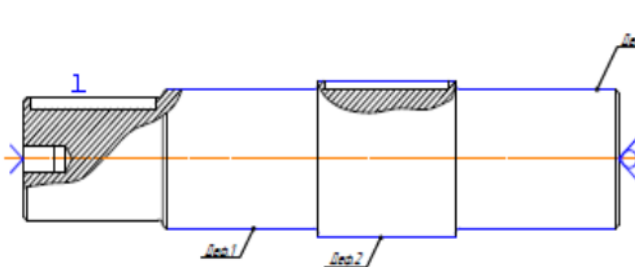
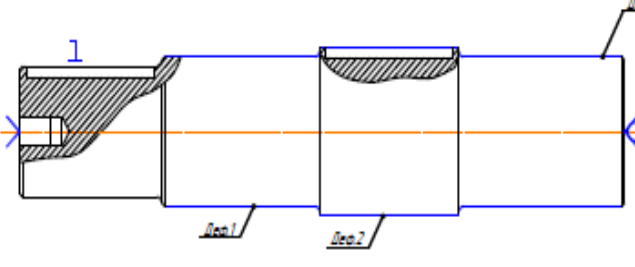
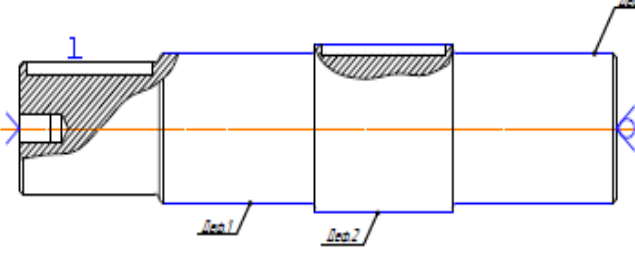
- HRC 35...45
- H14, h14, ± 1/2

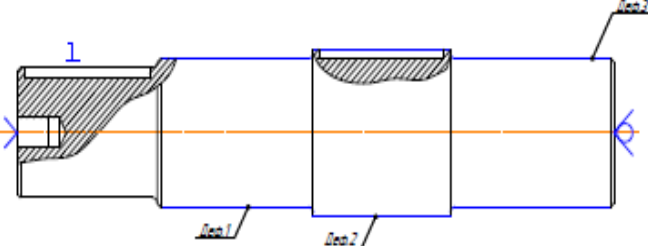
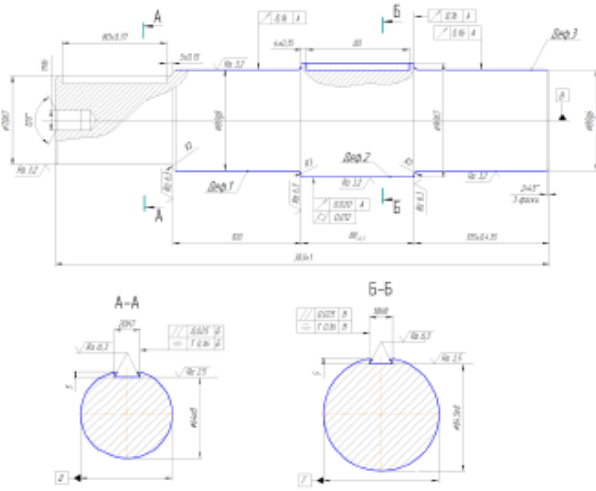
08-27.МКР.005.001.00.01Р				Лист	Маса	Масштаб
Вал черв'ячного колеса						1:1
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71				Листів	Листів	Г
ВНТУ, гр.ЗВ-19м						

## Ремонтне креслення вала черв'ячного колеса

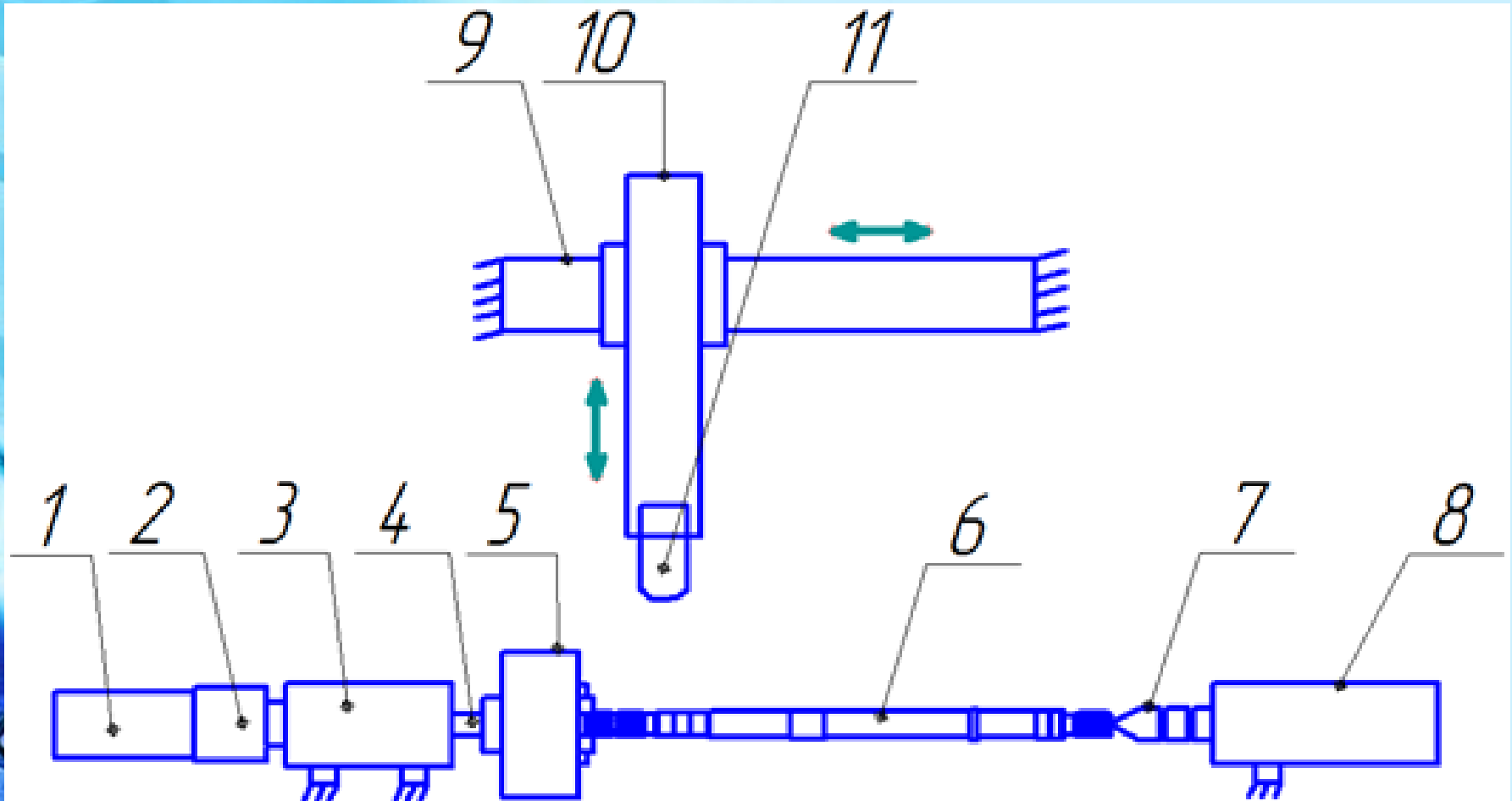
# Технологічний процес відновлення валу черв'ячного колеса

№ опер ації	Найменування операції та технічних переходів	Схема базування	Обладнання
005	<p>Мийна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Мити деталь розчином „Лабомід - 101” ТУ 308.10738-80</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>Мийна машина АКТЬ - 116</li> </ol>
010	<p>Дефектувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Дефектування поверхні Деф.1 згідно ескізу</li> <li>Дефектування поверхні Деф.2 згідно ескізу</li> <li>Дефектування поверхні Деф.3 згідно ескізу</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>ШЦ-1-125-0.1 ГОСТ 166-73</li> <li>Зразки шорсткості поверхні ГОСТ 2789-73</li> <li>Пристрій контрольний</li> </ol>
015	<p>Наплавлення</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Заплавити шпонковий паз на пов. Деф.2</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>Установка з ЧПК. Центр 1 - 5 - Н Наплавочна головка</li> </ol>

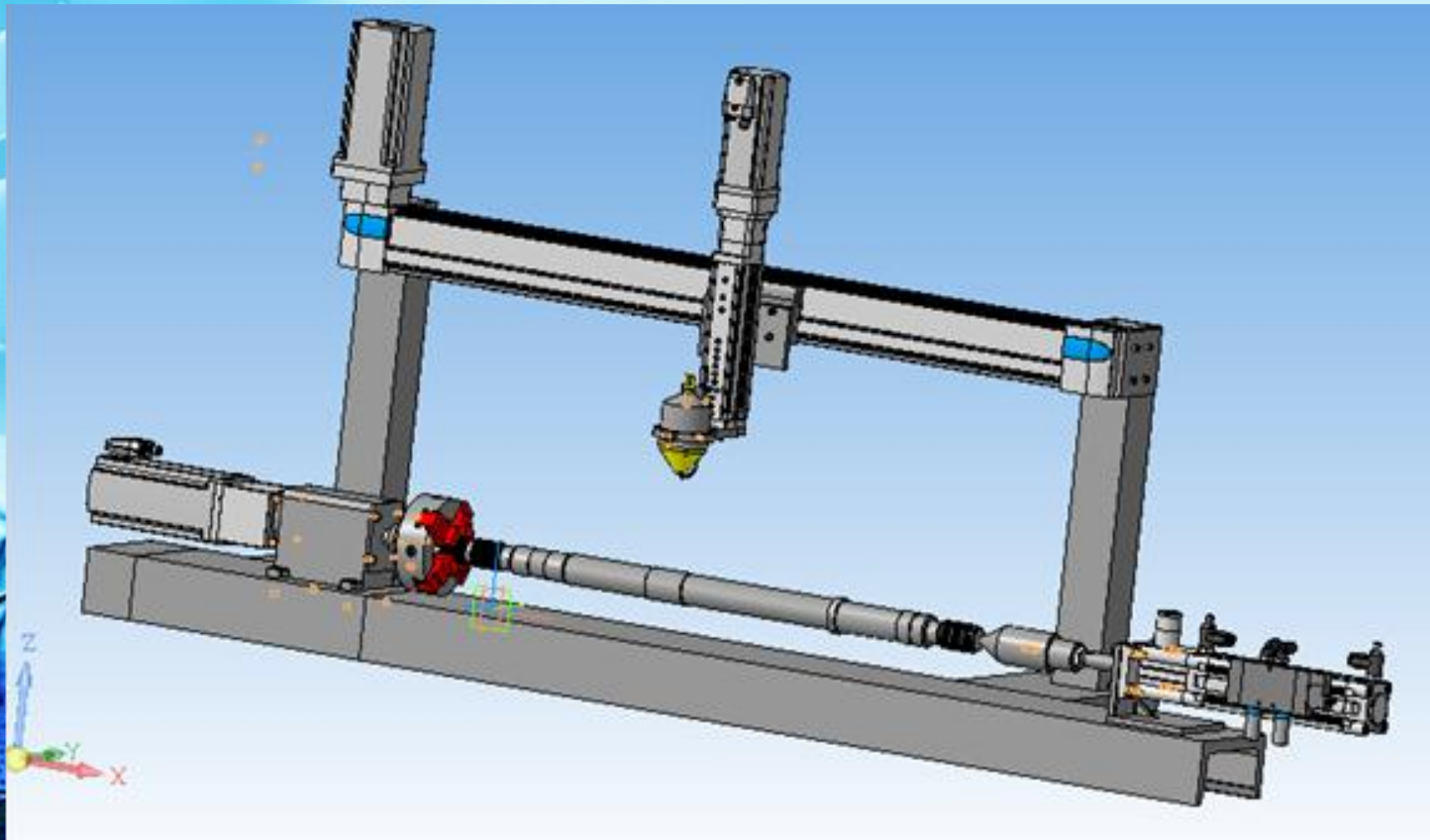
020	<p>Правильна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і зняти деталь</li> <li>2. Провести правку валу</li> </ol>		Правильний прес
025	<p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити зняти деталь</li> <li>2. Точити поверхню 2 згідно ескізу до <math>\varnothing 89,0 \pm 0,1</math> мм</li> <li>3. Точити поверхню 3 згідно ескізу до <math>\varnothing 79,0 \pm 0,1</math> мм (2 пов. Деф.1, 3)</li> </ol>		
030	<p>Напилювальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити зняти деталь</li> <li>2. Напилити поверхню 1 згідно ескізу до <math>\varnothing 82 \pm 0,5</math></li> <li>3. Напилити поверхню 2 згідно ескізу до <math>\varnothing 92 \pm 0,5</math></li> <li>4. Напилити поверхню 3 згідно ескізу до <math>\varnothing 82 \pm 0,5</math></li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установка 3 ЧПК.</li> <li>Центр 1 – 5 – Н</li> <li>3. Плазмотрон</li> </ol>
035	<p>Фрезерувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і зняти деталь</li> <li>2. Фрезерувати шпонковий паз поверхні 2 згідно ескізу до розмірів <math>5 \times 18 \times 80</math> (мм)</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вертикально-фрезерний універсальний верстат 6Т104</li> </ol>

040	<p>Термічна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Провести гартування</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>Індуктивна піч ВЧГ-3-160/0,066</li> </ol>
045	<p>Шліфувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Шліфувати поверхню 1 згідно ескізу до розмірів <math>\varnothing 80_{(-0,010}^{-0,029)}</math> мм</li> <li>Шліфувати поверхню 3 згідно ескізу до розмірів <math>\varnothing 80_{(-0,010}^{-0,029)}</math> мм</li> <li>Шліфувати поверхню 2 до розмірів <math>\varnothing 90_{(+0,022)}</math></li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>Шліфувальний верстат 3М151</li> <li>Центр 1 – 5 – Н</li> </ol>
050	<p>Контрольна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Контроль поверхні Деф.1 згідно ескізу</li> <li>Контроль поверхні Деф.2 згідно ескізу</li> <li>Контроль поверхні Деф.3 згідно ескізу</li> <li>Шорсткість обробки поверхонь відхилення розмірів</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>Стіл контрольний</li> <li>ШЦ-1-125-0.1 ГОСТ 166-73</li> <li>Зразки шорсткості поверхні ГОСТ 2789-73</li> <li>Пристрій контрольний</li> </ol>

# Конструктивна схема верстата з ЧПК

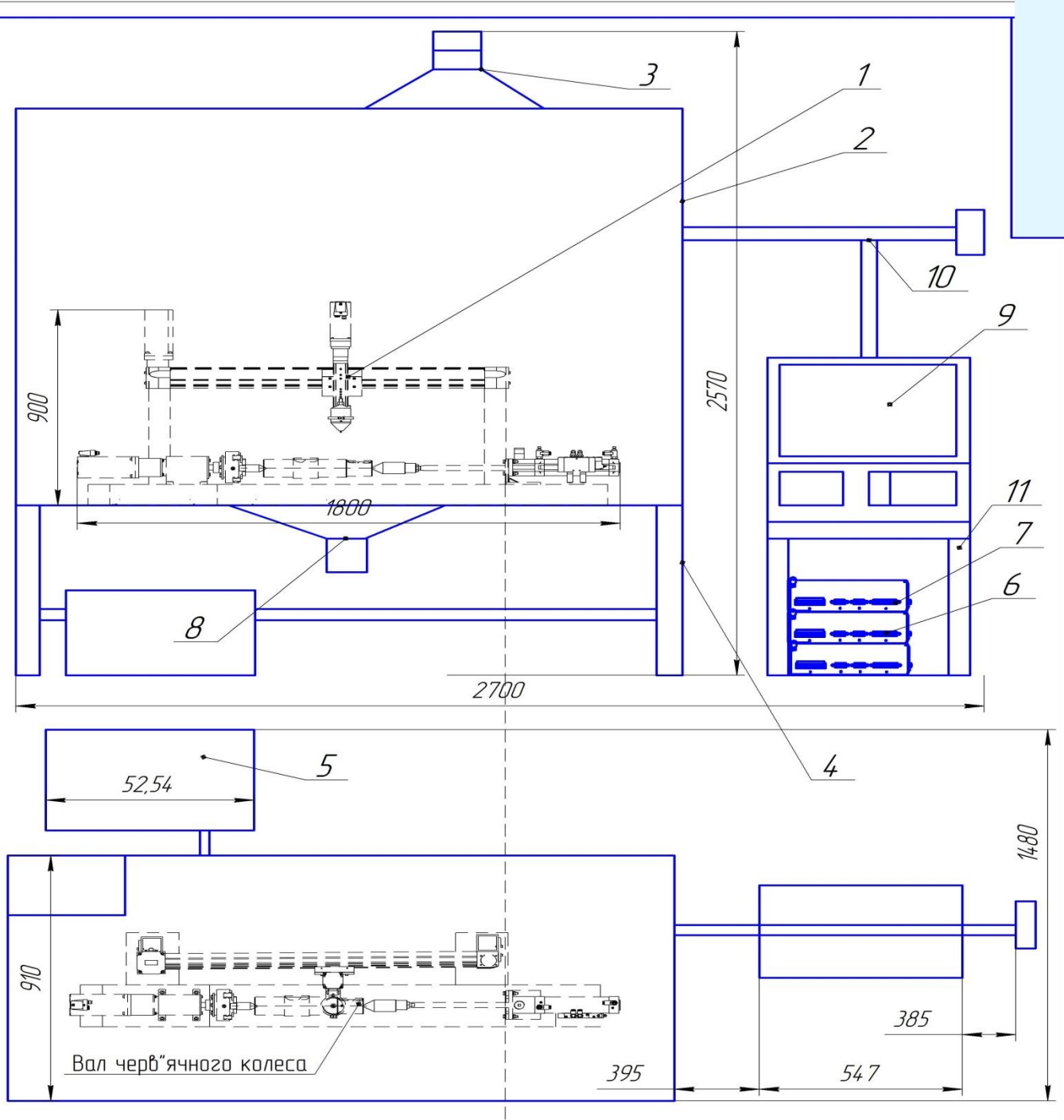


# 3D модель установки для відновлення валу

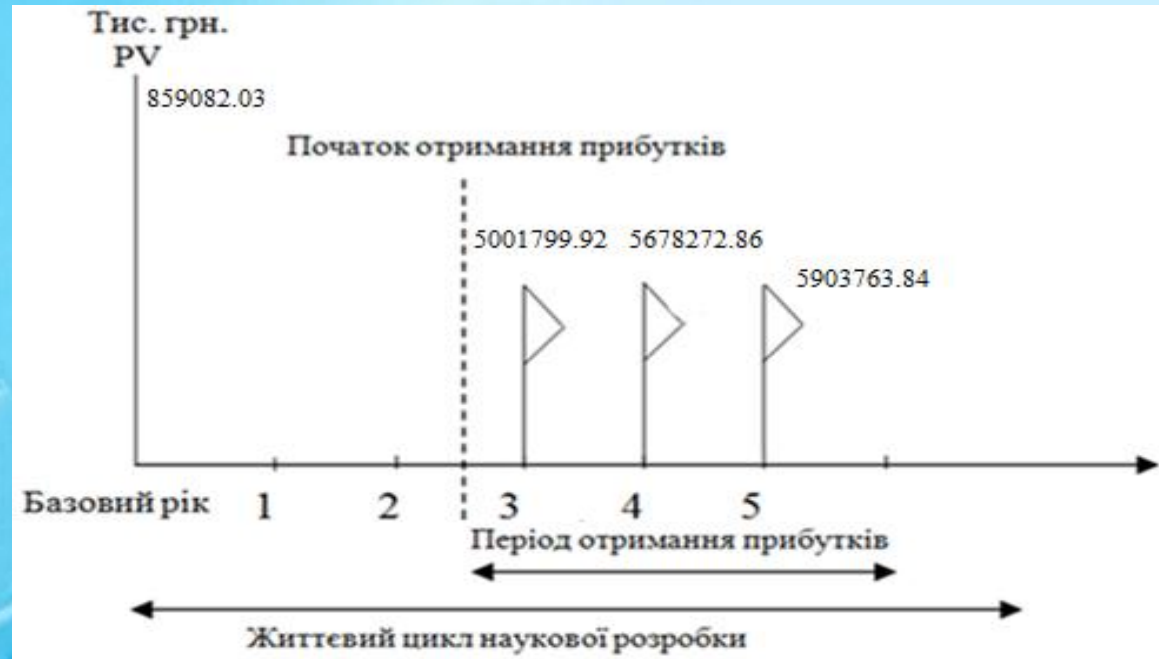




# Робоче місце



# РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РІШЕННЯ



Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДР

При оцінці ефективності інноваційного проекту отримані такі важливі показники, як:

- чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект) грн.;
- внутрішня норма дохідності (прибутковості) 25%;
- термін окупності 0,74 року.

Отримані показники свідчать про високий рівень дохідності для інвестора і підтверджують доцільність впровадження технологічного процесу відновлення деталей «Вал».

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Методом планування експерименту із застосуванням дробового факторного плану досліджено вплив режимів наплавлення на величину припуску для механічної обробки. До уваги прийняті такі елементи режиму наплавлення, які змінювались в межах: напруга – 22...38 В, швидкість наплавлення – 3...7 м/хв та крок наплавлення – 2,8 ... 6,3 мм/об. Із їх збільшенням припуск на механічну обробку зменшується.

2. При наплавленні вуглецевої сталі покритими електродами змінюючі режими наплавлення можна отримати в'язку серцевину з наплавленими шарами високої якості та експлуатаційними властивостями.

3. Технологією відновлення валу черв'ячного колеса обрано плазмове напилювання посадкових шийок під підшипники і черв'ячне колесо.

4. Удосконалено електродуговий плазмотрон для напилювання покриттів, застосувавши кінцево-елементний аналіз для дослідження конструкції розпилювального пристрою на міцність встановили, що конструкція має суттєві резерви по зменшенню маси та розмірів, що буде виконано під час модернізації.

5. Для реалізації процесу відновлення розроблено конструкторську документацію на складальне креслення установки автоматизованого відновлення з використанням виконавчих механізмів з числовим програмним керуванням.

6. Спроековано пристрій нанесення покриття: плазмотрон та установку з числовим програмним керуванням для якої розраховані режими відновлення валу.

9. В процесі роботи застосовувались такі програми. Програма Компас – для 3D моделювання, розрахунку масоцентровочних характеристик, та розробки креслення. Програма Positioning drives – для розрахунку і вибору виконавчих механізмів та комплектуючих деталей.

The background is a light blue gradient. In the lower-left corner, there is a pair of round-rimmed glasses resting on a newspaper. The newspaper has some text visible, including the word "Face". To the left of the glasses, there is a stack of papers or a folder with a tabular structure. The overall image has a professional and academic feel.

***ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!***