

**Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра технології підвищення зносостійкості**

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему: **ВПЛИВ ВАНАДІЮ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА**  
**ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДНОВЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ**  
**ВАЛА КОРОБКИ ВІДБОРУ ПОТУЖНОСТІ**

Розробив ст.гр. 13В-16М  
Сідлак М.П.  
Науковий керівник:  
к.т.н.доц. Шиліна О.П.

## Мета роботи:

Мета роботи полягає у створенні електродугових композиційних покриттів шляхом введення ванадію в зону сплавлення с основним металом та керування твердістю та стабільністю структури.

Науково-технічною задачею, яка вирішується в даній роботі, є визначення кількісного складу обмазки на квадратний сантиметр поверхні при електродуговому наплавленні з метою отримання дрібнозернистої стабільної структури та рівномірною твердістю.

## Наукова новизна одержаних досліджень

- Встановлено, що в результаті легування ванадієм досягається оптимальна об'ємна структура, при якій виконується так званий принцип Шарпі-Бочвара.
- Встановлено підвищення ефективності застосування порошкової суміші з використанням ванадію (ванадієвомістких сумішей), для забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин після наплавлення.
- Вперше методом планування багатофакторного експерименту отримано адекватну регресійну модель твердості поверхневих шарів.

## Практичне значення одержаних результатів

При наплавленні шару металу забезпечувалось стабільне проплавлення основного металу з утворенням перліту переважно дрібнозернистої форми, який покращує структуру наплавленого металу з підвищенням його службових характеристик.

Розроблено напилювальний пристрій, комп'ютерний аналіз якого показав, що міцність детонаційної гармати повністю виконує задані функції.

Проведено аналіз міцності установки для автоматизації процесу нанесення покриття з використанням програми міцнісного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D, згідно якому результати показали її надійність.

Дослідження проводились на попередньо підготовленій до наплавлювання шийкі вала. Рівномірно наноситься паста на основі ферованадію (80 % дисперсного порошку ФВд50У0,5 + 20 % рідкого скла), що забезпечується обертанням деталі та поступальним переміщенням пасти вздовж поверхні.

Для проведення наплавлення використана вдосконалена установка УД - 209М. На рисунку 1.1 показано зразок із сталі 40Х діаметром 50 мм з нанесеним шлікерним покриттям ферованадія на основі рідкого скла, встановлений на наплавочній установці.



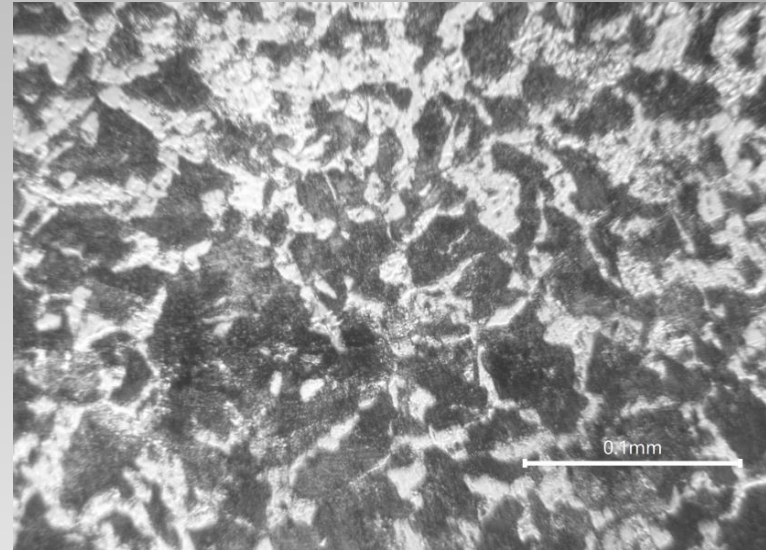
**Рисунок 1.1 – Вал з нанесеною обмазкою на основі ферованадію (80 % дисперсного порошку ФВд50У0,5 + 20 % рідкого скла)**



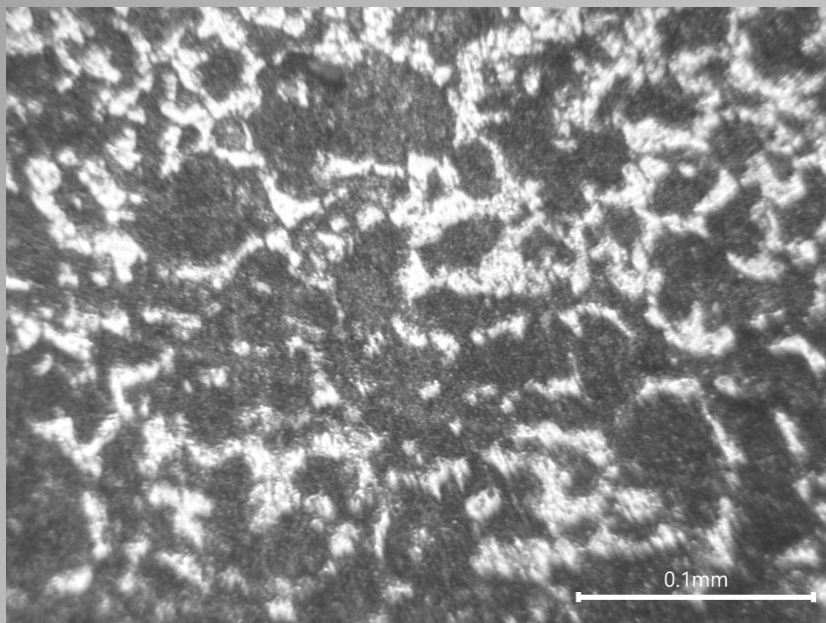
1

2

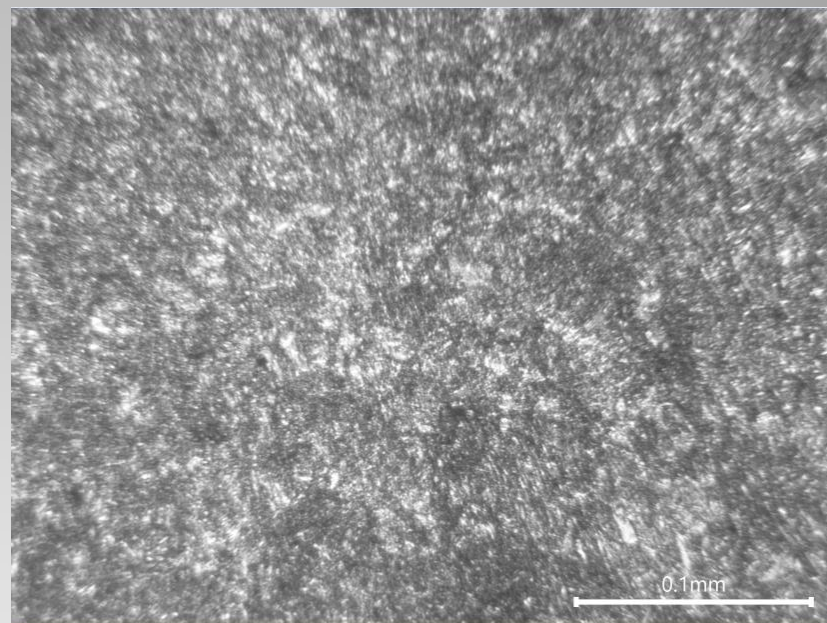
**Рисунок 1.2 - Наплавлені валки дротом 30ХГСА ( 1) та валки з обмашенням основі феррованадія наплавлені дротом 30ХГСА ( 2)**



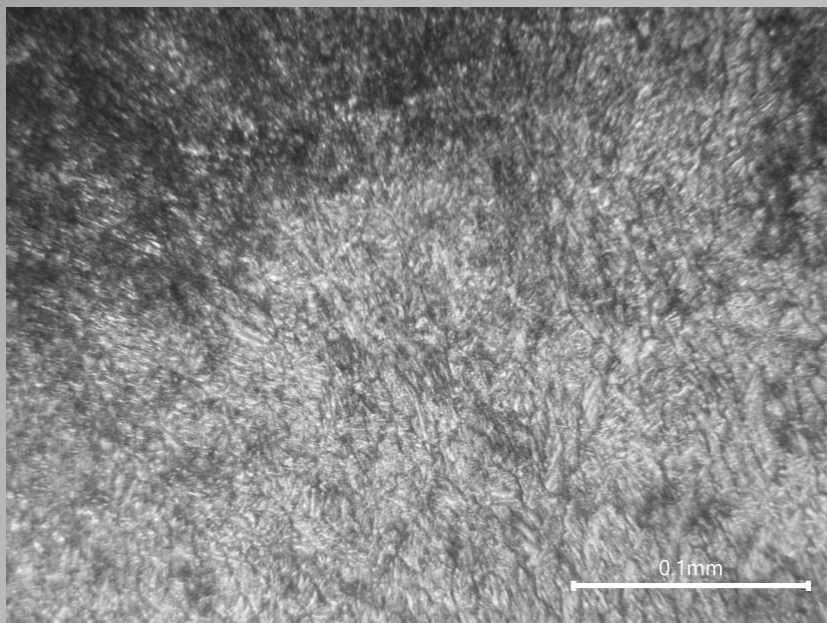
**Рисунок 1.3 – Мікроструктура основного металу сталі 40Х перед наплавлюванням (x100) Травлення ніталем**



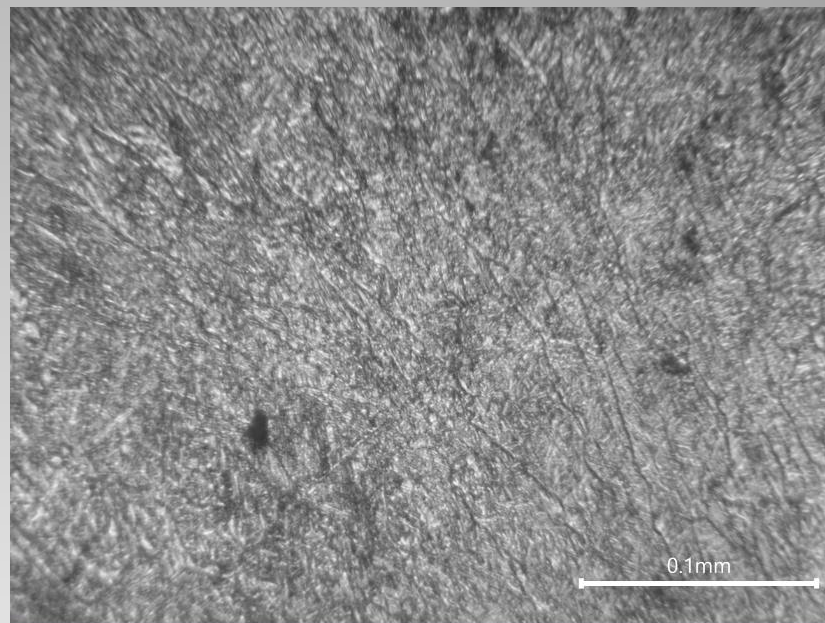
**Рисунок 1.4 – Мікроструктура початку перехідної зони дротом 30ХГСА + легувальна обмазка (80 % дисперсного порошку ФВд50У0,5 + 20 % рідкого скла). Травлення ніталем**



**Рисунок 1.5 – Мікроструктура перехідної зони дротом 30ХГСА + легувальна обмазка (80 % дисперсного порошку ФВд50У0,5 + 20 % рідкого скла). Травлення ніталем**

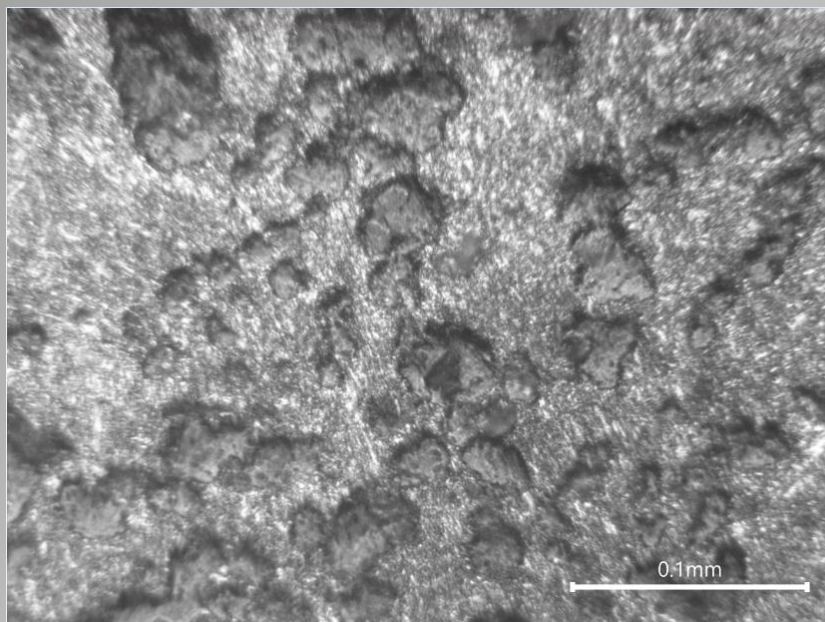


**Рисунок 1.6 – Мікроструктура кінця перехідної зони дротом 30ХГСА + легувальна обмазка (80 % дисперсного порошку ФВд50У0,5 + 20 % рідкого скла). Травлення ніталем**

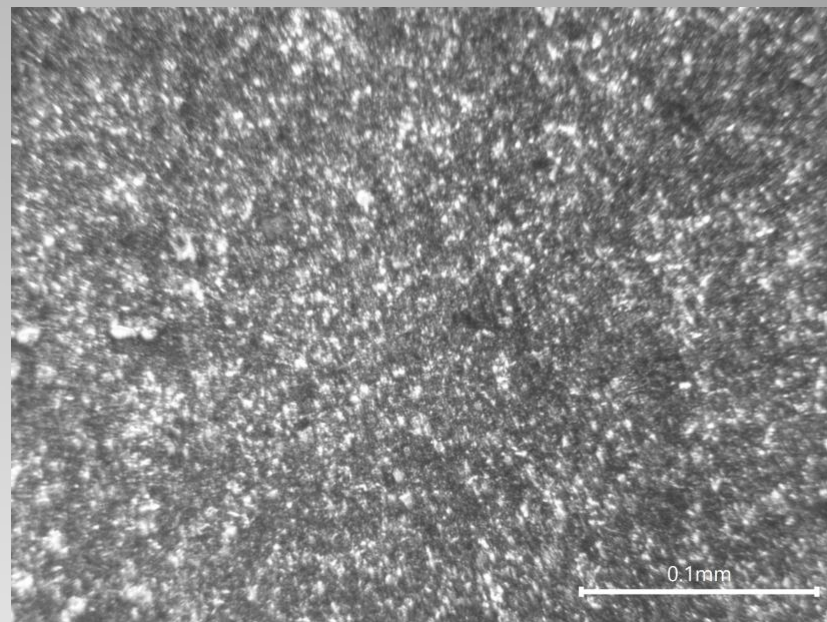


**Рисунок 1.7 – Мікроструктура наплавленого дротом 30ХГСА + легувальна обмазка (80 % дисперсного порошку ФВд50У0,5 + 20 % рідкого скла). Травлення ніталем**

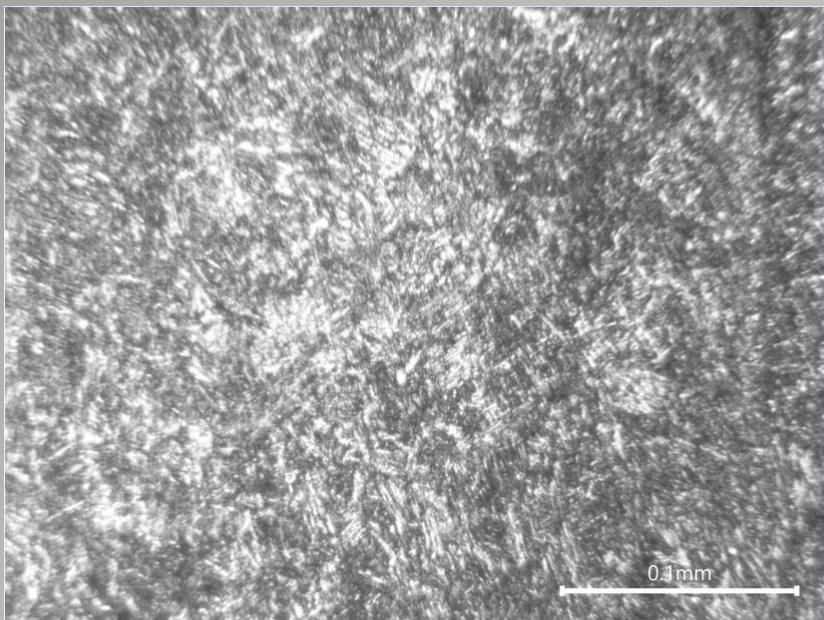




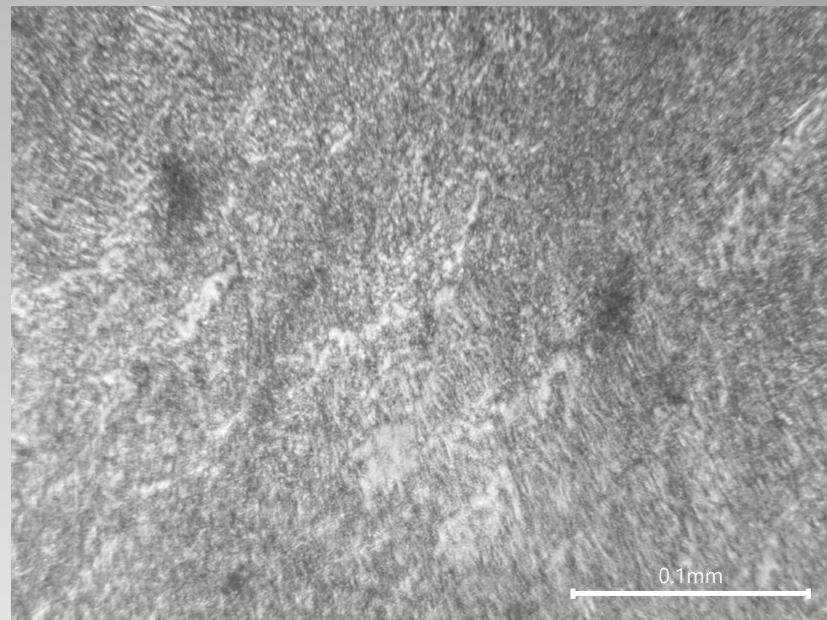
**Рисунок 1.8 – Мікроструктура дефектів наплавленого шару дротом 30ХГСА + легувальна обмазка (80 % дисперсного порошку ФВд50У0,5 + 20 % рідкого скла). Травлення ніталем**



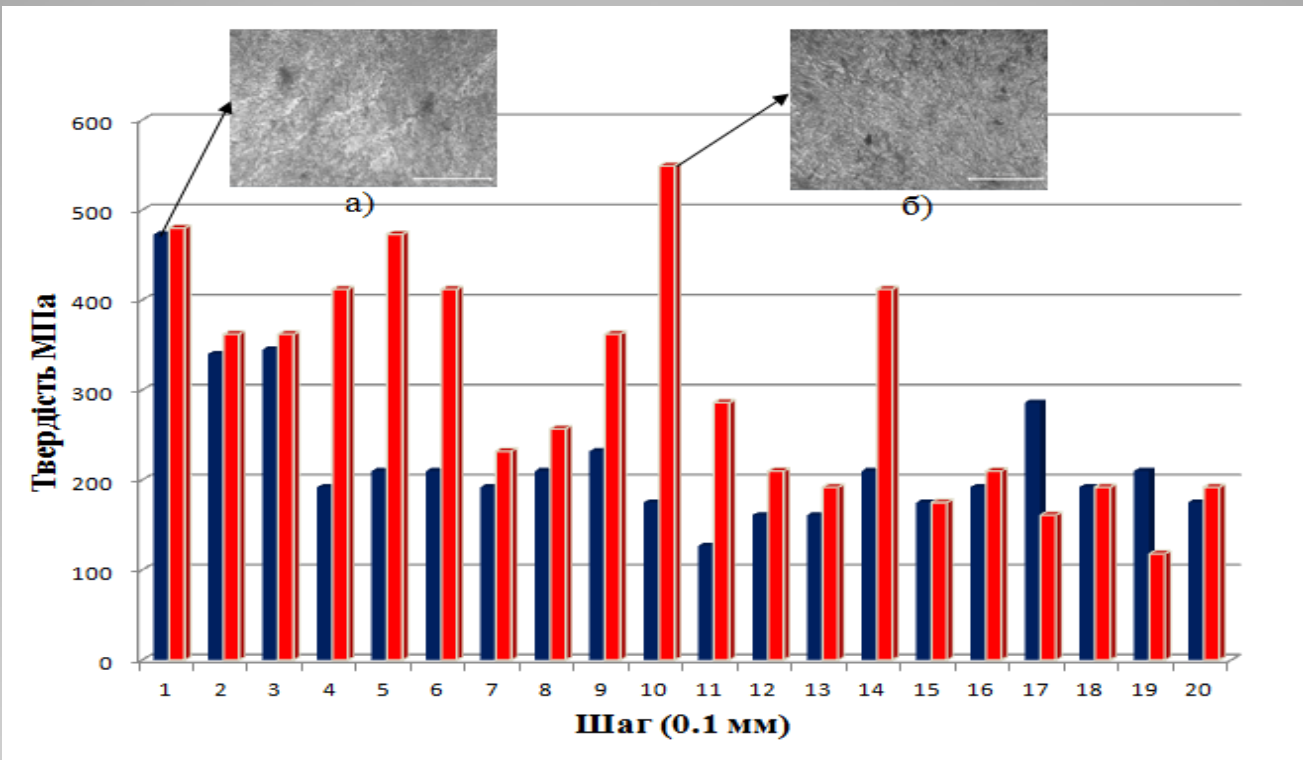
**Рисунок 1.9 – Мікроструктура перехідної зони ( Дріт 30ХГСА) (x100) Травлення ніталем**



**Рисунок 1.10 – Мікроструктура  
напавленої зони дротом 30ХГСА (x100)  
Травлення ніталем**



**Рисунок 1.11 – Мікроструктура вершини  
напавленого шару дротом 30ХГСА (x100)  
Травлення ніталем**



**Рисунок 1.12 – Характер розподілу мікротвердості наплавленого шару:  
а) Дріт 30 ХГСА; б) Дріт 30ХГСА з ферованадієм**

У порівнянні зі зразком без ферованадію, рівень мікротвердості значно вищий і досягає 600 МПа на відстані 1.0 мм від поверхні. Рівень максимальної мікротвердості 450 МПа, на зразку без обмазки, що відповідає твердості на глибині 1,5 мм на зразках з обмашенням, тобто з використанням обмашення отримали значне збільшення товщини зміцненого шару зі збереженням якості поверхневого шару без тріщин, пор та напливів.

## Регресійна модель впливу факторів на твердість наплавленого шару

### Результати експериментів

№ дослідження	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>0</sub>	X <sub>123</sub>	y
1	+1	+1	+1	460	+1	+1	+1	+1	+1	481.875
2	-1	+1	+1	451	-1	-1	+1	+1	-1	448.375
3	+1	-1	+1	432	-1	+1	-1	+1	-1	440.125
4	-1	-1	+1	470	+1	-1	-1	+1	+1	444.125
5	+1	+1	-1	443	+1	-1	-1	+1	-1	434.625
6	-1	+1	-1	442	-1	+1	-1	+1	+1	468.125
7	+1	-1	-1	480	-1	-1	+1	+1	+1	457.875
8	-1	-1	-1	451	+1	+1	+1	+1	-1	453.875
9	0	0	0	430						
10	0	0	0	440						
11	0	0	0	430						
12	0	0	0	420						
13	0	0	0	445						
14	0	0	0	435						

Методом планування багатфакторного експерименту отримано адекватну регресійну модель твердості поверхневих шарів після наплавлення дротом 30 ХГСА + легувальна обмазка ( 80% дисперсного порошку ФВд50У0.5 + 20% рідкого скла) від основних факторів впливу, таких як величина струму, відсоткова кількість ванадію на поверхні, швидкості обертання валу. Встановлено, що за критерієм Стюдента найбільша твердість поверхневого шару залежить від швидкості обертання валу, а найменша твердість – від впливу струму.

$$HV = -370,12 - 3,94t_1 - 56,88t_2 - 220,17t_3 + 0,47t_1t_2 - 1,84t_1t_3$$

## Комп'ютерний аналіз міцності детонаційної гармати

Для аналізу міцності використовуємо найбільш завантажені деталі напилювача, а саме корпуса в якій знаходиться основна камера згорання, адже так як вона знаходиться в найбільш жорстких умовах тиску та температури. Так як максимальний тиск у камері складає 0,5 – 1 МПа, було заданно вхідні данні для перевірки міцності камери згорання 2 МПа.

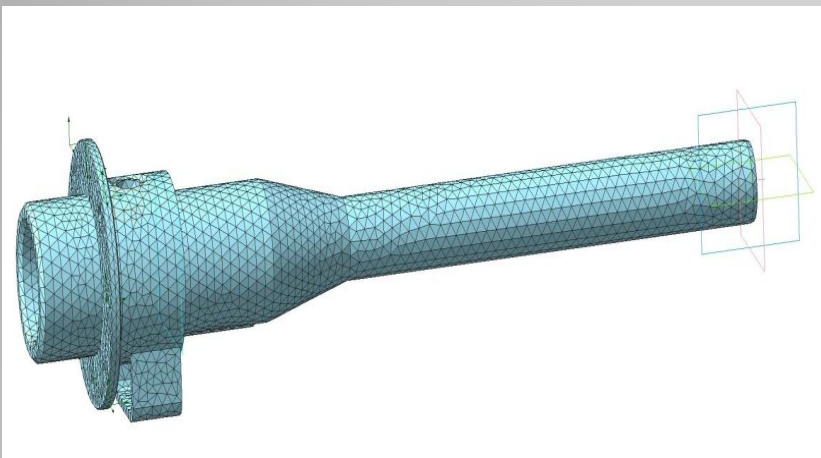


Рисунок 1.13 – Згенерована сітка кінцевих елементів

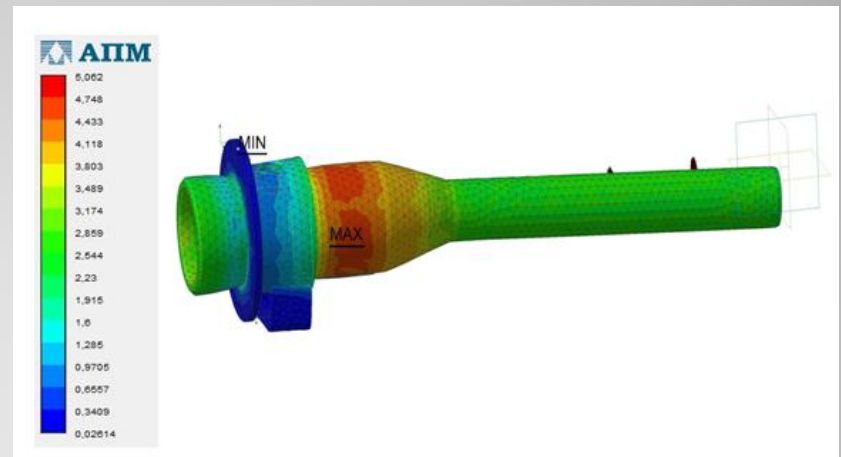
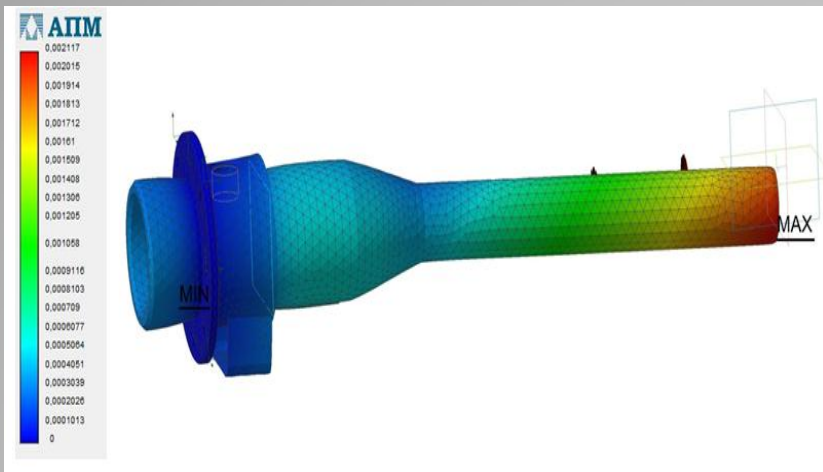
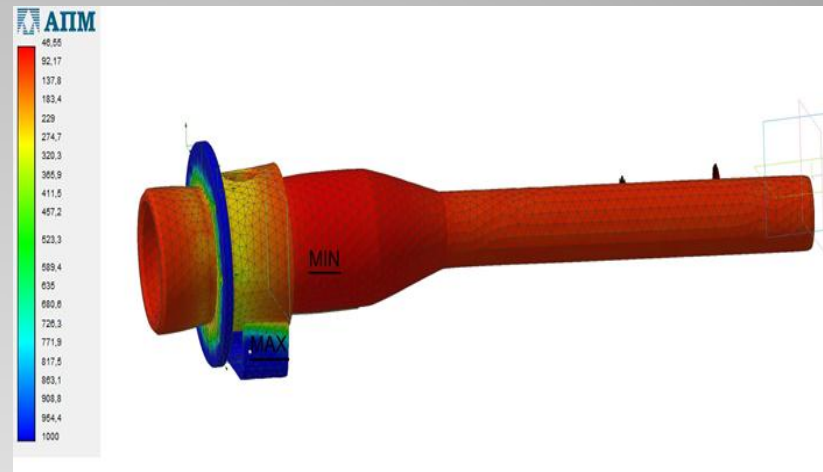


Рисунок 1.14 – Еквівалентне напруження по Мізесу



**Рисунок 1.15 – Сумарне лінійне переміщення**



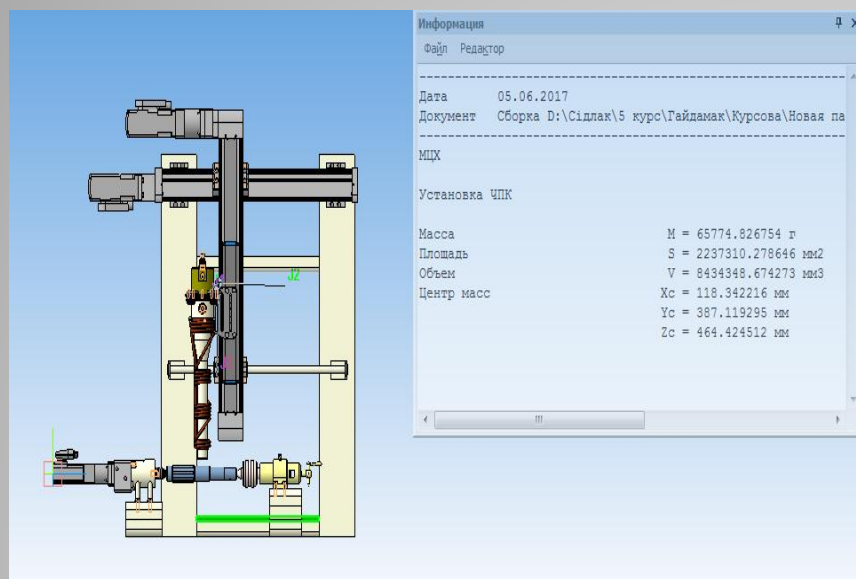
**Рисунок 1.16 – Коефіцієнт запасу текучості**



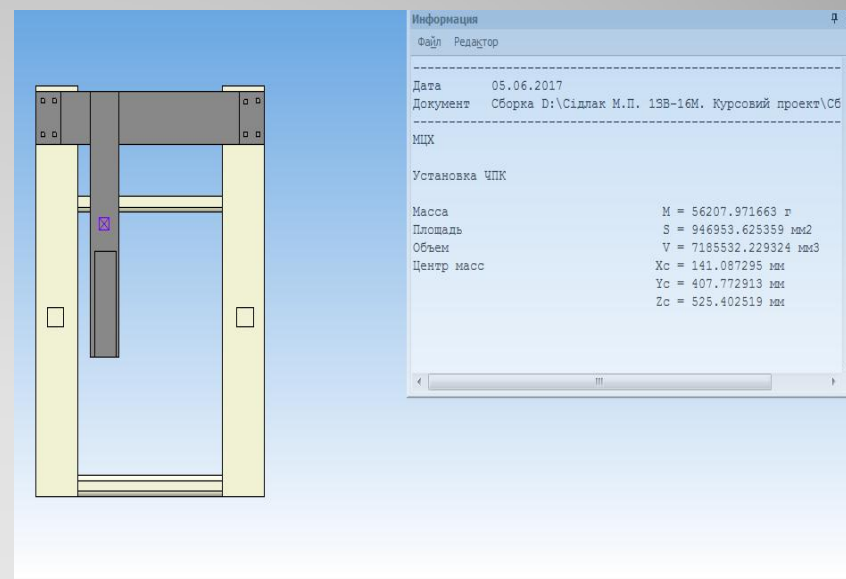
Рисунок 1.17 – Коефіцієнт запасу міцності

## Комп'ютерний аналіз міцності для автоматизації процесу нанесення покриттів

Задля збереження комп'ютерного ресурсу було запропоновано дещо спростити установку, замінивши оригінальні деталі на муляжі, але з дотриманням загального центра мас установки



**Рисунок 1.18 – Центр мас оригінальної установки**



**Рисунок 1.19 – Центр мас спрощеного зразка установки**



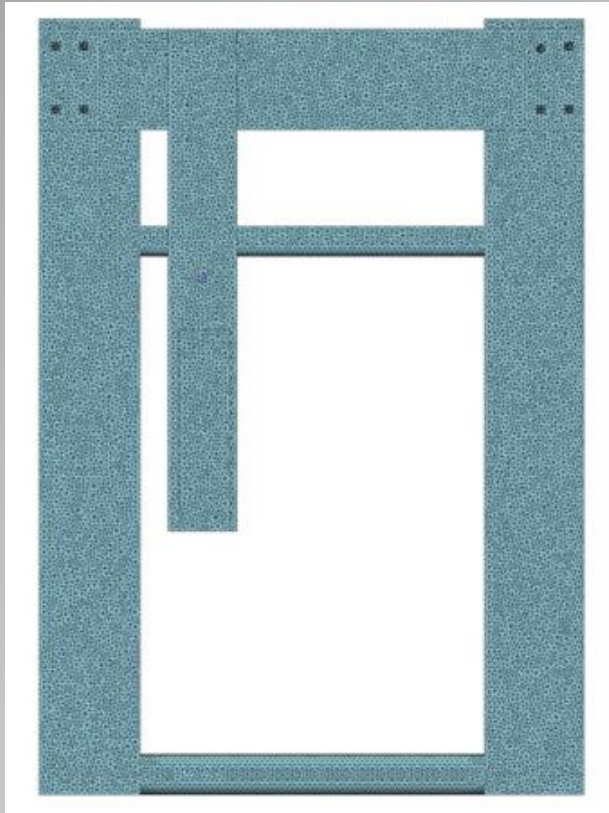


Рисунок 1.20 – Сітка кінцевих елементів

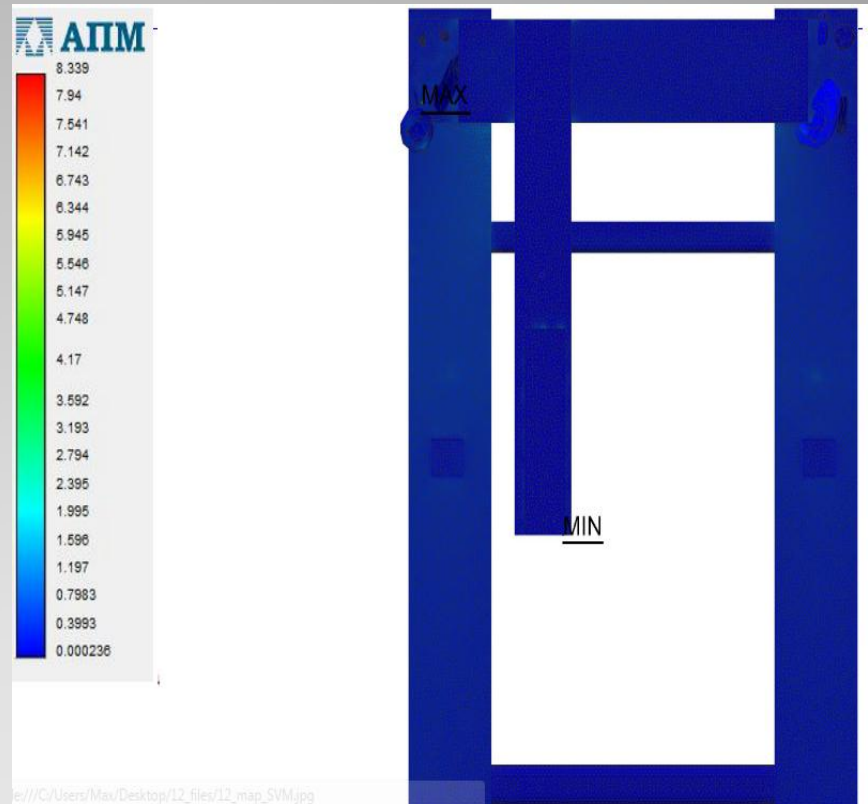
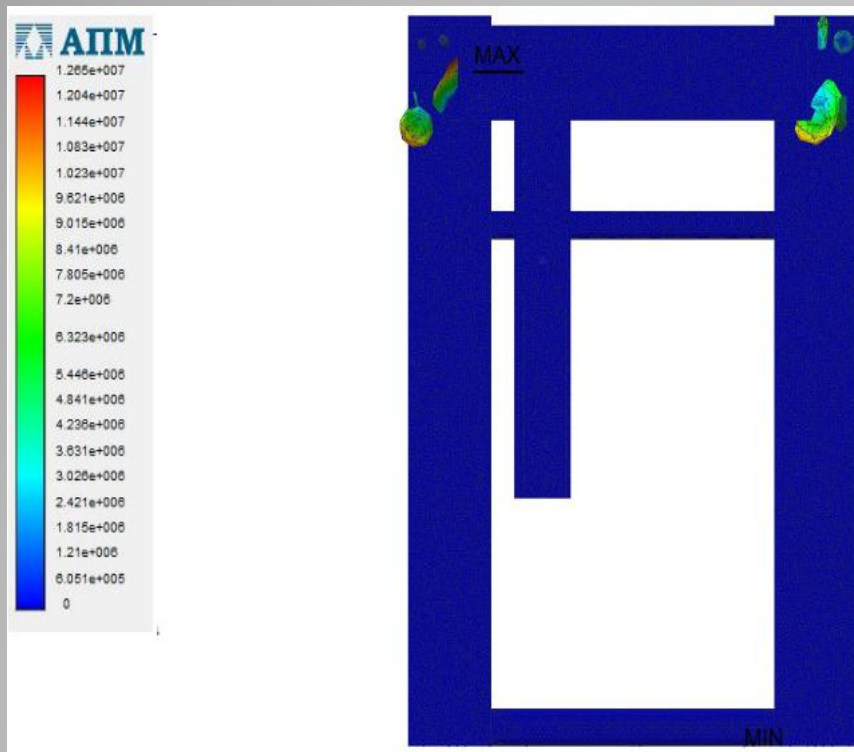
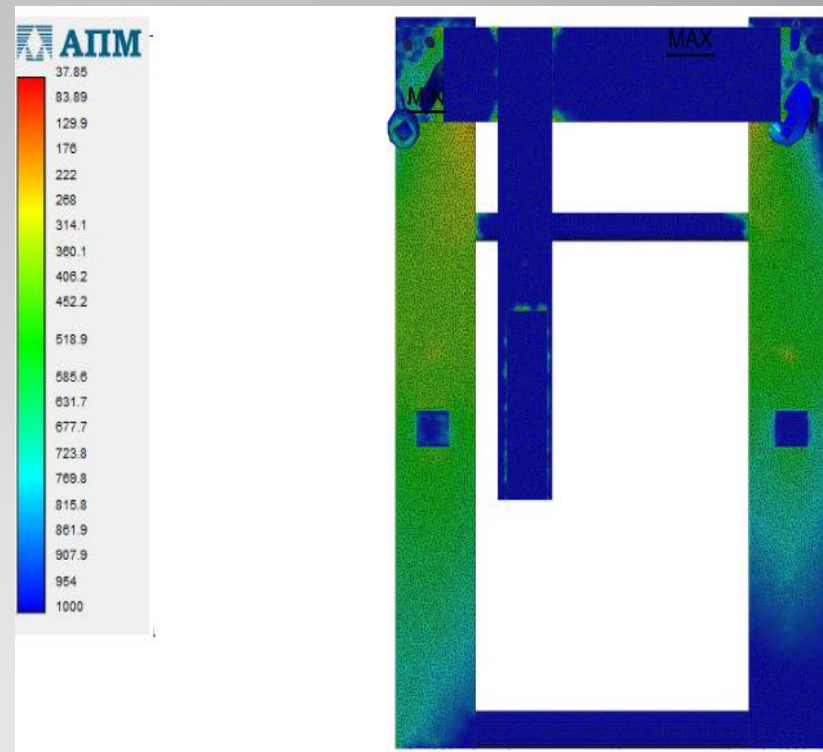


Рисунок 1.21 – Напруження по Мізесу



**Рисунок 1.21 – Сумарне лінійне переміщення**



**Рисунок 1.22 – Коефіцієнт запасу текучості**

Вал коробки відбору потужності – є складовою коробки відбору потужності. Вихідний вал встановлений на двох кулькових підшипниках. По шліцьовій поверхні у середній частині вала переміщується колесо, вінець якого входить в зачеплення з прямозубим зубчастим вінцем блоку зубчастих коліс.

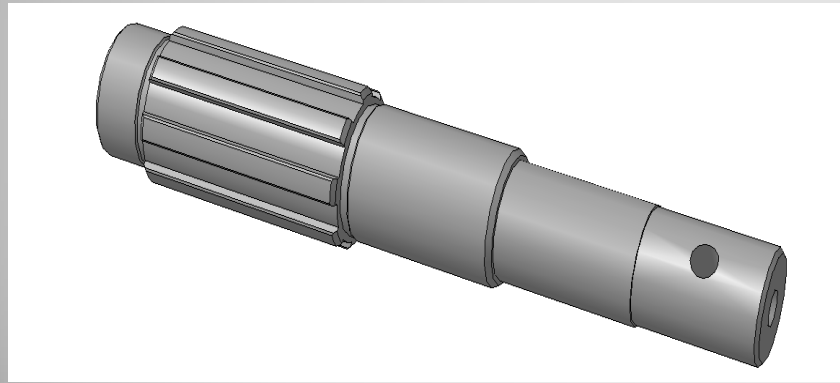
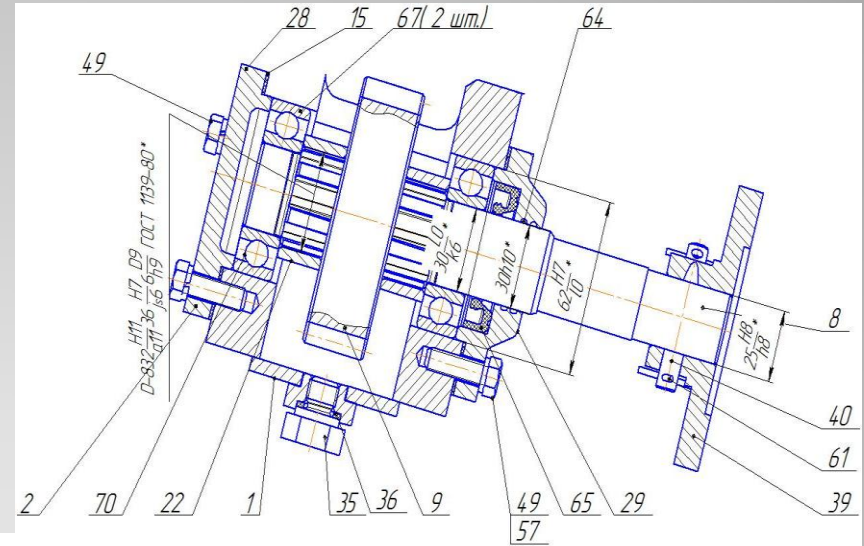


Рисунок 1.23 – 3D модель вала коробки відбору потужності

Рисунок 1.24 – 2D складальне креслення коробки відбору потужності

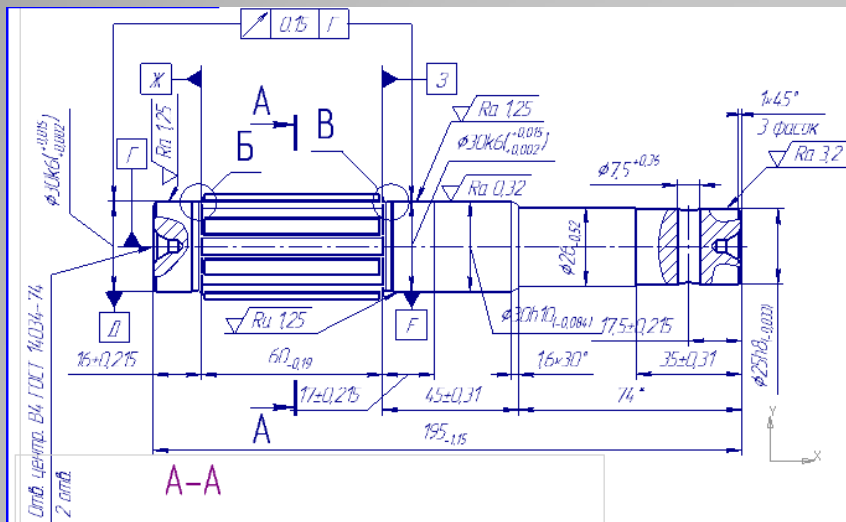


Рисунок 1.25 – Робоче креслення валу коробки відбору потужності

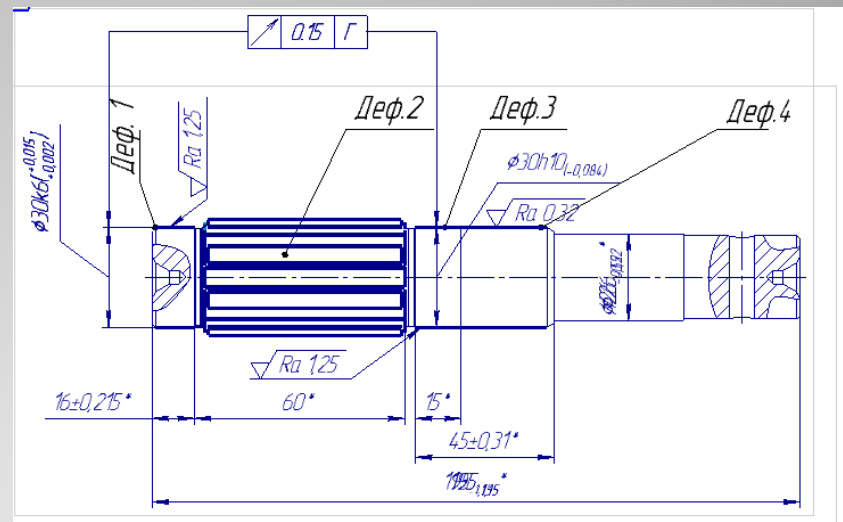
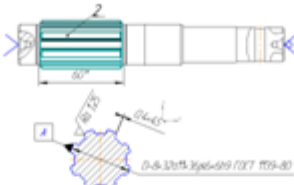



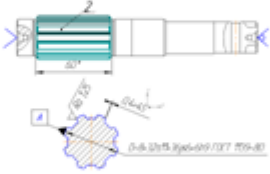
Рисунок 1.26 – Ремонтне креслення валу коробки відбору потужності

## Формування маршруту технологічного процесу відновлення поверхонь вала коробки відбору потужності

№ОП	Найменування операції і технологічних переходів	Схема установки	Обладнання
005	Мийна  1. Установити на корзину машини деталь. 2. Мити деталі одночасно. 3. Вийняти деталі.		Мийна машина UNIX 120 – 2В
010	Дефектувальна  1. Установити деталь на дефектувальний стіл. 2. Виявити дефекти деталі зовнішнім оглядом. 3. Виконати контрольні проміри $\varnothing 29.9, 5.9, 35.9$ .		Дефектоском УД-12

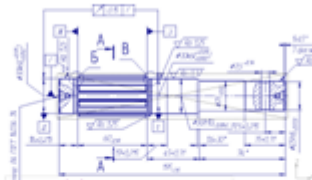
015	<p>Токарна</p> <p>1. Установити та закріпити.</p> <p>2. Точити поверхню 3,4 однократно в розмір <math>29^{(+0,6)}</math> та поверхню 2 в розмір <math>31^{(+0,6)}</math>.</p> <p>3. Переустановити деталь.</p> <p>4. Точити поверхню 1 однократно в розмір <math>29^{(+0,6)}</math>.</p> <p>6. Зняти деталь.</p>		Токарний верстат 16К20
020	<p>Наплавлення</p> <p>Установ 1:</p> <p>1. Встановити деталь в патрон.</p> <p>2. Наплавити поверхню 2 в розмір <math>37,3^{+0,6}</math>.</p> <p>3. Зняти деталь.</p>		Установка для наплавлення УД-209М
025	Термічна (відпуск)		Муфільна піч ПМ-8

030	<p>Фрезерувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити та закріпити.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 2 по ширині 6 мм, та довжині в 60 мм.</li> <li>3. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Горизонтально-фрезерний широко консольний 6P80Ш</p>
035	<p>Напилювання</p> <p>Установ 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити деталь в патрон.</li> <li>2. Напилити поверхню 3 та 4 в розмір <math>\varnothing 31,1^{(+0,6)}</math> згідно ескизу.</li> <li>3. Переустановити деталь.</li> </ol> <p>Установ 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Напилити поверхню 1 розміром <math>\varnothing 31,1^{(+0,6)}</math> згідно ескизу.</li> <li>5. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Напилювальна установка з ЧПК</p>

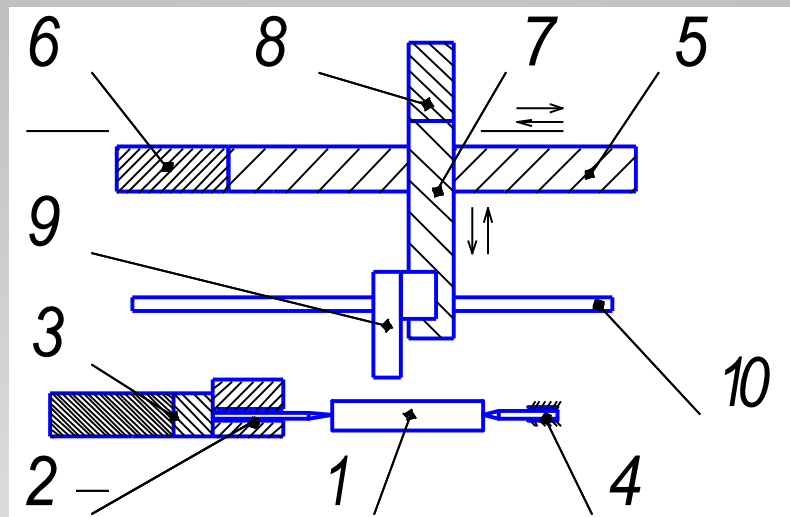
040	<p>Шліцешліфувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити та закріпити.</li> <li>2. Шліфувати попередньо чорнову поверхню 2 в розмір <math>36,6(+0,12)</math>мм.</li> <li>3. Шліфувати попередньо чистову поверхню 2 в розмір <math>36,1(+0,04)</math>.</li> <li>4. Шліфувати остаточно тонка поверхню 2 в розмір <math>36,03(+0,020)</math>.</li> <li>5. Шліфувати остаточно поверхню 2 в розмір <math>36(+0,008/-0,008)</math>.</li> <li>6. Зняти деталь.</li> </ol>		Шліцешліфувальний 3451
-----	---	--	------------------------



045	<p>Шліфувальна</p> <p>Установ 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити та закріпити.</li> <li>2. Шліфувати попередньо чорнову поверхню 3 в розмір <math>30,3^{(+0,12)}</math>.</li> <li>3. Шліфувати попередньо чистове поверхню 3 в розмір <math>30,1^{(+0,04)}</math>.</li> <li>4. Шліфувати попередньо тонке поверхню 3 в розмір <math>30^{(+0,015)}</math>.</li> <li>5. Шліфувати остаточно поверхню 4 в розмір <math>30h10^{(-0,004)}</math>.</li> </ol> <p>Установ 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Шліфувати попередньо чорнову поверхню 1 в розмір <math>30,3^{(+0,12)}</math>.</li> <li>2. Шліфувати попередньо чистове поверхню 1 в розмір <math>30,1^{(+0,04)}</math>.</li> <li>5. Шліфувати попередньо тонке поверхню 1 в розмір <math>30^{(+0,015)}</math>.</li> <li>6. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Круглошліфувальний універсальний 3А110А</p>
-----	--	--	--

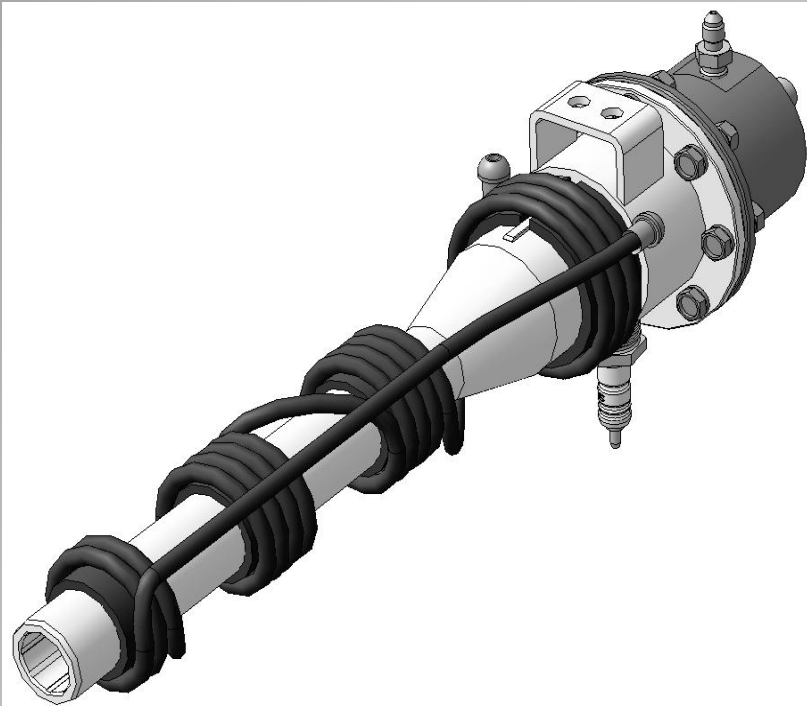
Контроль			
050	1.Контролювати розмір поверхні 1, 2,4 до розміру $30^{+0,015}_{+0,002}$ та $30_{-0,004}$		Контрольний з'їд, інструмент для вимірювання (мікрометр, штангенциркуль)
	2.Контролювати розмір поверхні 3 до розміру $36^{+0,008}$ $36_{-0,008}$		

Спроекуємо конструктивну схему установки з ЧПК, визначимо основні компоненти та їх призначення, спосіб закріплення деталі та приводи переміщення

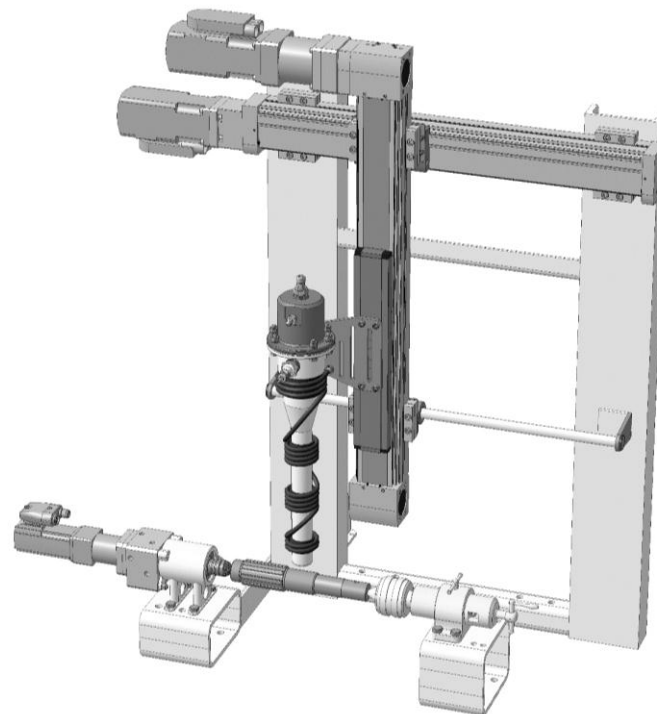


**Рисунок 1.27 - Конструктивна схема установки відновлення**

Пристрій нанесення покриття 9, закріплений на консольному електромеханічному приводі 7, що забезпечує можливість автоматизовано вибирати відстань до поверхні відновлення. Вертикальна консоль приводиться в рух серводвигуном 8. На електромеханічному приводі 5 кріпиться та переміщується привід 7. Детонаційна гармата 9 рухається з напрямною 10. Роботу переміщення цього приводу виконує серводвигун 6. Деталь 1 затискається між двома центрами, один з яких закріплено в упорі 4, інший центр закріплено в обертачі 2, передає крутний момент від двигуна 3, він є рифленим. Після кожного двигуна встановлено осьовий набір, який містить муфту, корпус муфти та фланець.

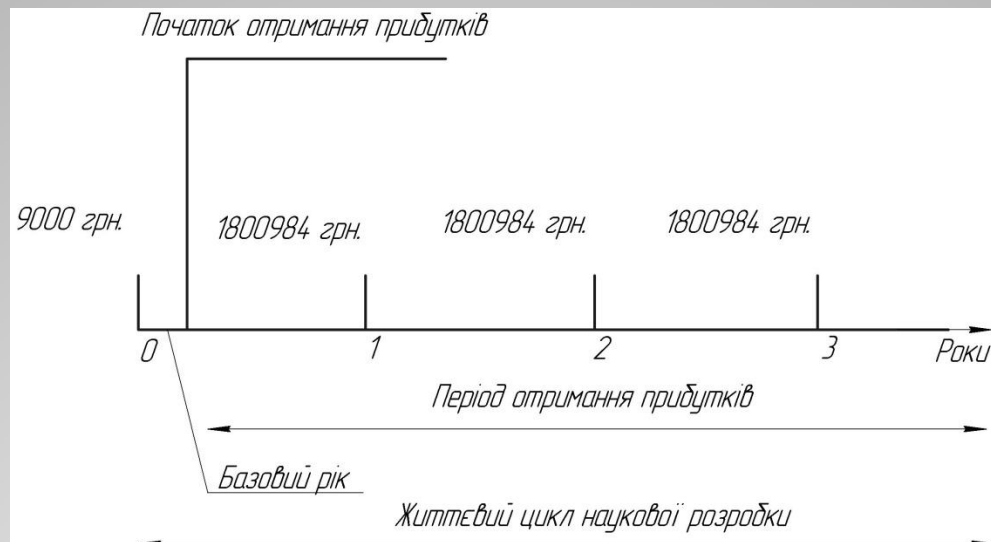


**Рисунок 1.28 – 3D модель детонаційної гармати**



**Рисунок 1.29 – Установка з числовим програмним керуванням**

## РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РІШЕННЯ



**Рисунок 1.30 – Життєвий цикл наукової розробки з фіксацією платежів**

**Впровадження модернізованого технологічного процесу потребує від інвестора 9000 грн. капітальних вкладень.**

**Прибуток за рік виробника складе 1800984 грн.**

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

- чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект) грн.;
- внутрішня норма дохідності (прибутковості) 30%;
- термін окупності 0,2 року.

**Отримані показники свідчать про високий рівень дохідності для інвестора і підтверджують доцільність впровадження технологічного процесу відновлення деталі «Вал коробки відбору потужності».**

## ВИСНОВКИ

- Методами оптичної мікроскопії та цифрової обробки зображень досліджено, що в результаті легування наплавленого шару ванадієм досягається оптимальна об'ємна структура, при якій тверді зони, що складаються з більш крихкого матеріалу, ізольовані одна від одної, а між ними розташована безперервна матриця з в'язкого незміцненого матеріалу – виконується так званий принцип Шарпі-Бочвара.
- Вперше показано, що за критерієм Стюдента найбільша твердість поверхневого шару залежить від швидкості обертання валу, а найменша твердість – від впливу струму.
- Доведено підвищення ефективності застосування порошкової суміші з використанням ванадію (ванадієвомістких сумішей) для забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин після наплавлення.
- Розроблено спосіб комп'ютерного аналізу міцності детонаційної гармати який показав, що деталь працює на оптимальних режимах і повністю виконуватиме задані функції.
- Отримав подальший розвиток аналіз міцності установки для автоматизації процесу нанесення покриття.
- Розроблено технологічний процес відновлення вала коробки відбору потужності. Зроблені розрахунки, які забезпечують високу продуктивність відновлення, що в свою чергу зменшує трудомісткість та витрату часу. Для реалізації процесу відновлення розроблено конструкторську документацію на складальне креслення установки автоматизованого відновлення з використанням виконавчих механізмів з числовим програмним керуванням. Спроектовано пристрій нанесення покриття: детонаційну гармату та установку з числовим програмним керуванням для якої розраховані режими відновлення валу.

**Дякую за увагу!**