

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра галузевого машинобудування

Магістерська кваліфікаційна робота  
на тему:

***«ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ  
РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ  
ВАЛ-ШЕСТЕРНІ РЕДУКТОРА 02- К101»***

Виконав: ст. гр. ЗВ-17м  
Носов Д.Ю.

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

# Мета роботи:

**Метою роботи** є розробка ефективної технології відновлення робочих поверхонь вал-шестерні за рахунок автоматизації робочого процесу, використання, як новітніх розробок відновлювального обладнання, так і актуальних більш старих установок та дослідження впливу параметрів на якість відновлення робочих поверхонь.

## **Задачі дослідження:**

1. Встановити температурні поля, які утворюються в процесі відновлення вал-шестерні, та виникають під час завершальної стадії наплавлення.
2. Дослідити вплив розповсюдження температури від зварювальних джерел тепла та його вплив на мікроструктуру перехідної зони наплавленого шару та структуру поверхневих шарів;
3. Розробити технологічний процес відновлення з використанням електродугового наплавлення, який забезпечує відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь.
4. Спроекувати устаткування з числовим програмним керуванням;
5. Розробити робоче місце для реалізації технологічного процесу відновлення деталі.

**Об'єкт дослідження** – процеси, що супроводжують утворення структури поверхневих шарів під впливом розповсюдження температури від зварювальних джерел тепла.

**Предмет дослідження** – утворення структури поверхневих шарів під впливом розповсюдження температури від зварювальних джерел тепла.

**Наукова новизна.** При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи отримані результати, які мають наукову новизну, а саме:

1. Досліджено, що під дією теплових процесів при різних електродугових способах наплавлення відбуваються перетворення, які суттєво впливають на мікроструктуру, а отже і на властивості навколошовної зони.

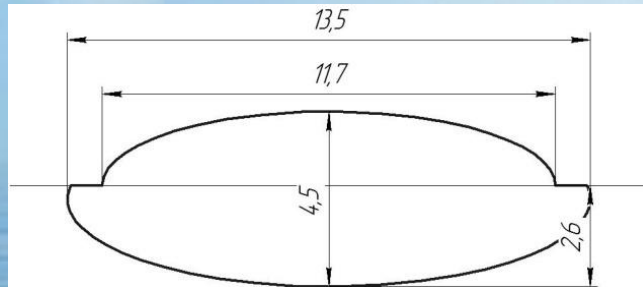
2. Показано, що електродуговий спосіб наплавлення сприяє можливості розробки нових принципів конструювання деталей машин і вузлів, внесення корінних змін в технологію виготовлення виробів.

3. Показано, що наплавлена поверхня поділяється на три шари, при чому між першим та другим шаром від зовнішньої поверхні, спостерігається скачкоподібна зміна мікроструктури, а між другим та третім шарами даний перехід є плавним.

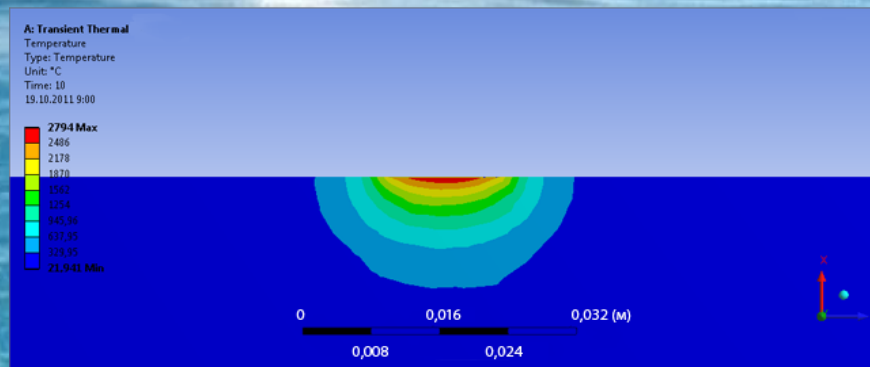
**Практичне значення** отриманих результатів полягає у:

1. Визначенні температурних полів, які виникають під час завершальної стадії наплавлення вал-шестерні редуктора 02-K101 методом кінцево-елементного аналізу та призводять до суттєвої зміни структури і появи теплових напружень.
2. Розробці технологічного процесу відновлення з використанням електродугового наплавлення, що забезпечує покращення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь.
3. Розроблена технологія відновлення поверхневих шарів на сталевих деталях з дешевих марок, яка дозволяє забезпечити твердість та відповідну зносостійкість робочих поверхонь.
4. Розробці установки з числовим програмним керуванням на базі вузлів компанії «Festo».

# Дослідження температурного режиму наплавлення покриттів та вплив на фазові перетворення

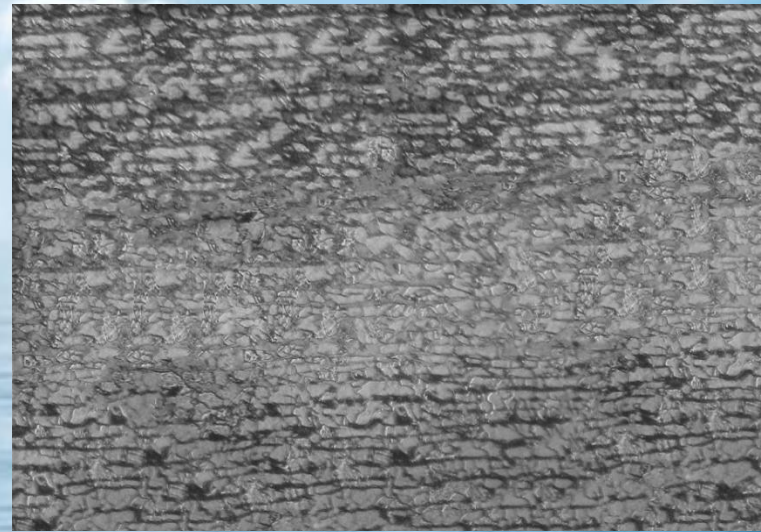
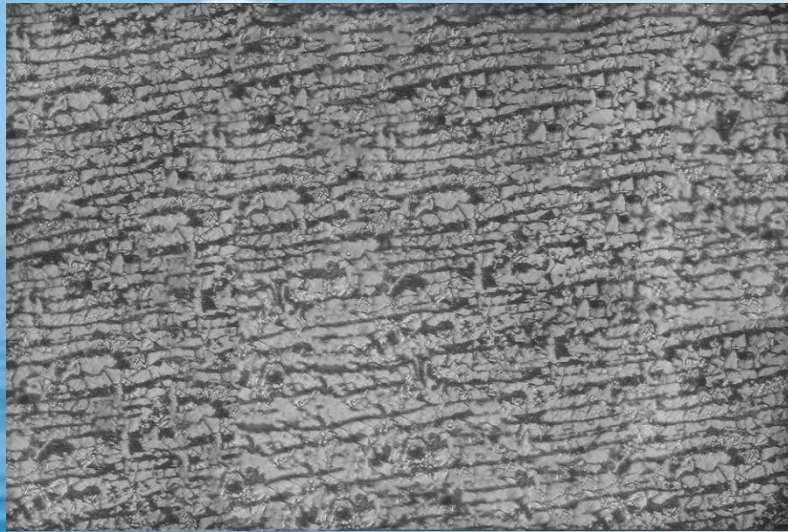


Геометричні розміри валика (а), макроструктура наплавленого валика (б) ручне електродугове наплавлення та модель розповсюдження температурного поля



Процес ручного електродугового наплавлення проведено електродом АНО-21 ГОСТ 9467–75 на пластину зі сталі Ст.3. Електрод АНО-21 містить:  $C \leq 0,10\%$ ,  $Si \leq 0,30\%$ ,  $Mn \approx 0,50-0,80\%$ ,  $S \approx 0,040\%$  та  $P \approx 0,045\%$ .  
Струм :  $I_{зв} = 80 \text{ A}$ ;  $U = 26 \dots 28$

Ручне електродугове наплавлення. Геометричні розміри валика: (11,7...13,5) мм на 4,5 мм , а зона розповсюдження температури досягає (32...34) мм на 12 мм углиб зразка. Зона вторинної кристалізації зі структурою цементиту та фериту.



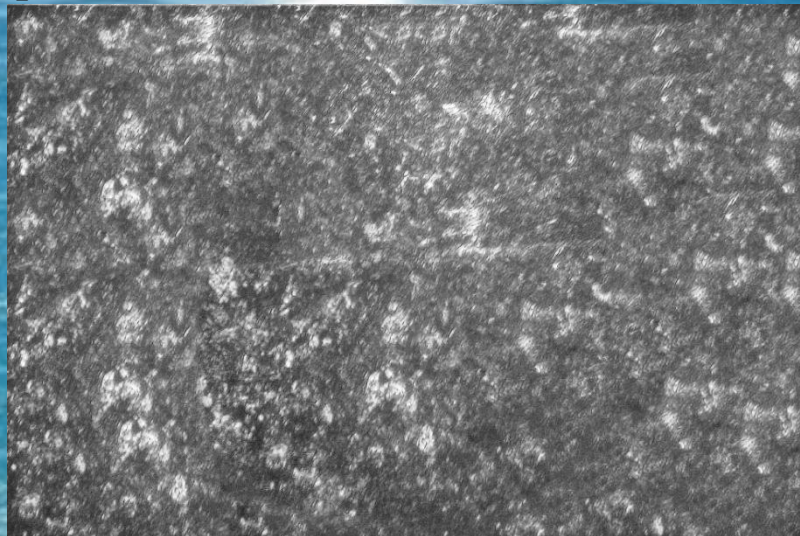
Наплавлений шар

Перехідна зона

Основа

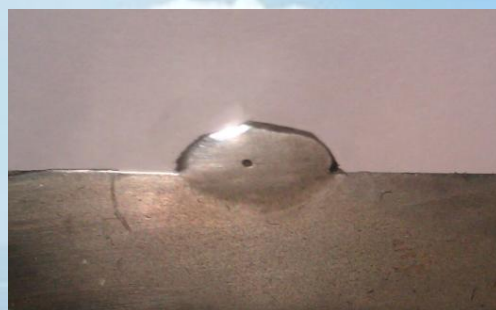
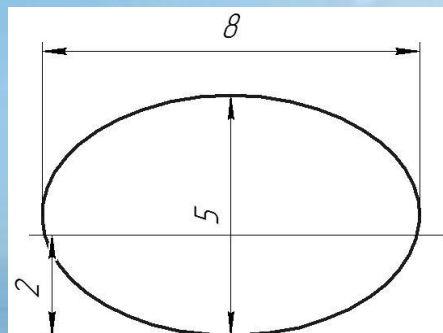
Мікроструктура зразків зі сталі Ст.3

Перехідна зона та зона термічного впливу

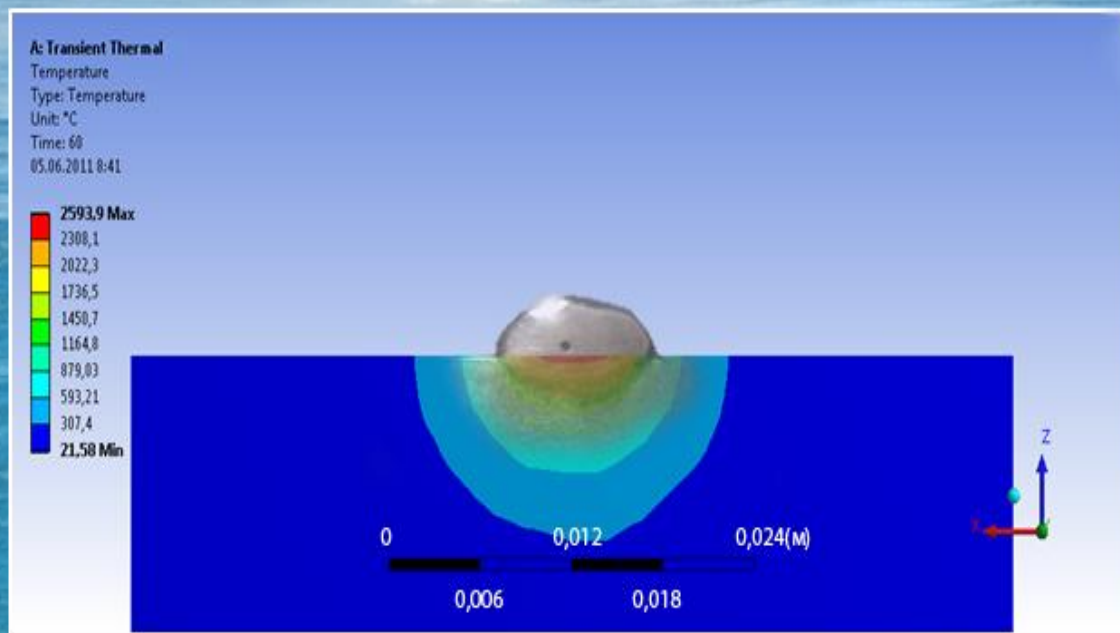


– Наплавлений шар

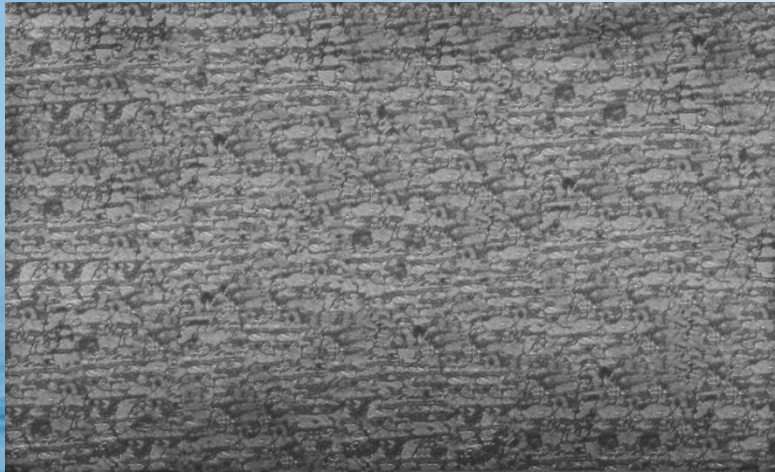
Наплавлення в середовищі вуглекислого газу плавким електродним дротом Нп-30ХГСА. Режимом  $I_{зв} = 110 \text{ А}; U = 22 \text{ В}$ .



Геометричні розміри валика (а) та макроструктура наплавленого валика (б) при наплавленні в середовищі вуглекислого газу



Зв'язок зварювальної ванни з моделлю розповсюдження температурного поля при наплавленні в середовищі вуглекислого газу;  $\times 100$

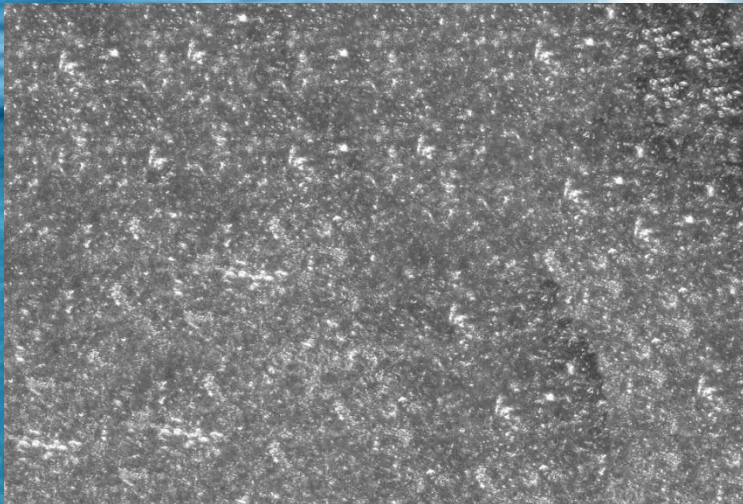


Наплавлений шар

Перехідна зона

Основа

Перехідна зона та зона термічного



Наплавлений шар дротом Нп-30ХГСА

При електродуговому напавленні в середовище вуглекислого газу геометричні розміри валика: довжина 8 мм на 5 мм , а зона розповсюдження температури досягає (16...18) мм на (10..12) мм углуб зразка.

Зона вторинної кристалізації є найширшою у порівнянні з іншими, де чітко спостерігається рекристалізована структура перехідної зони, яка являє собою суміш зі структурою легованого цементиту та вкрапленнями перліту і.

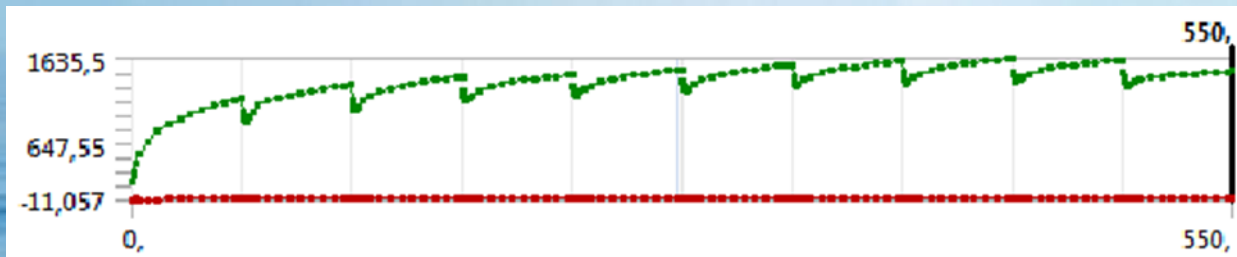
## ВИСНОВОК:

Аналіз отриманих даних за глибиною розповсюдження температурних полів дозволяє зробити висновок, що при використанні електродугового способу наплавлення з'являється можливість розробки нових принципів конструювання деталей машин і вузлів, внесення корінних змін в технологію виготовлення виробів. При таких способах наплавлення (зварювання) можна змінюючи властивості різних ділянок деталі та навколошовної зони, виготовленої з порівняно недорогого конструкційного матеріалу, одержати сплави на робочій поверхні деталі з унікальними характеристиками міцності, зносостійкості або корозійної стійкості.



# ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ТА НАПРУЖЕНЬ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ ВАЛ-ШЕСТЕРНИ

У якості навантаження, для аналізу процесу наплавлення розглядаємо рухомий тепловий потік визначеної потужності, що діє на деталь під час наплавлення

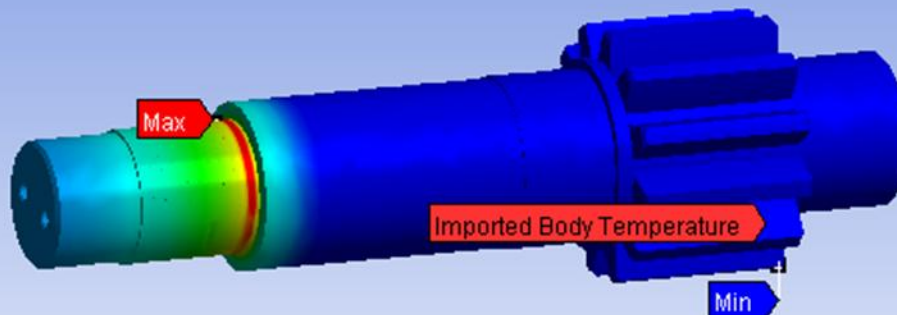


Графічне зображення температури за весь проміжок часу наплавлення

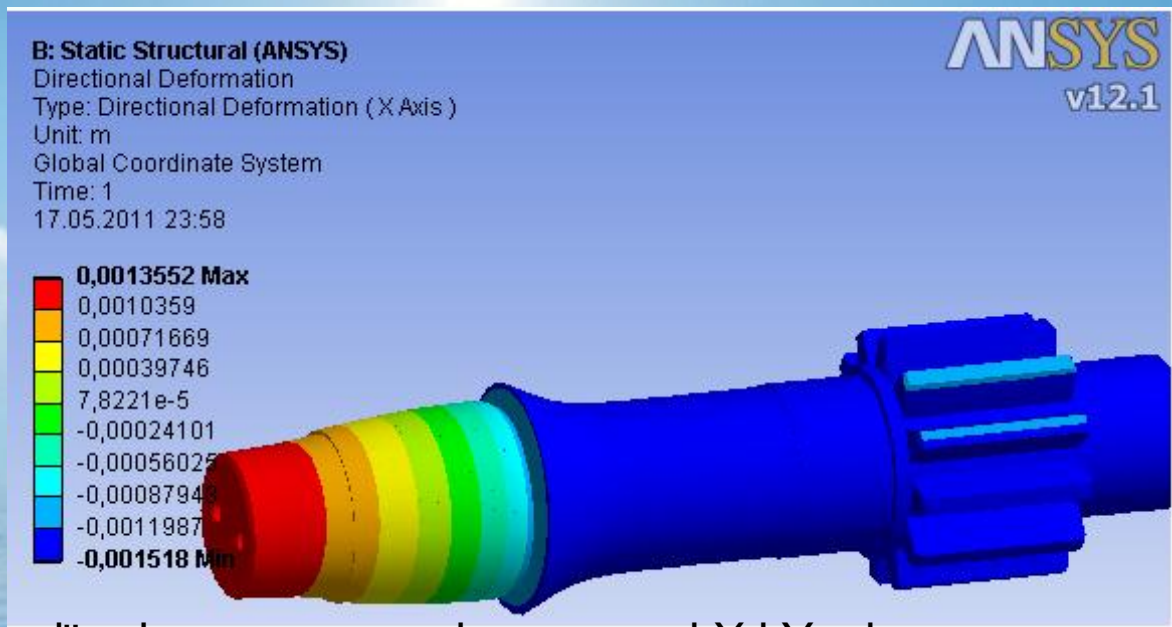
B: Static Structural (ANSYS)  
Imported Body Temperature  
Unit: °C  
18.05.2011 0:00

ANSYS  
v12.1

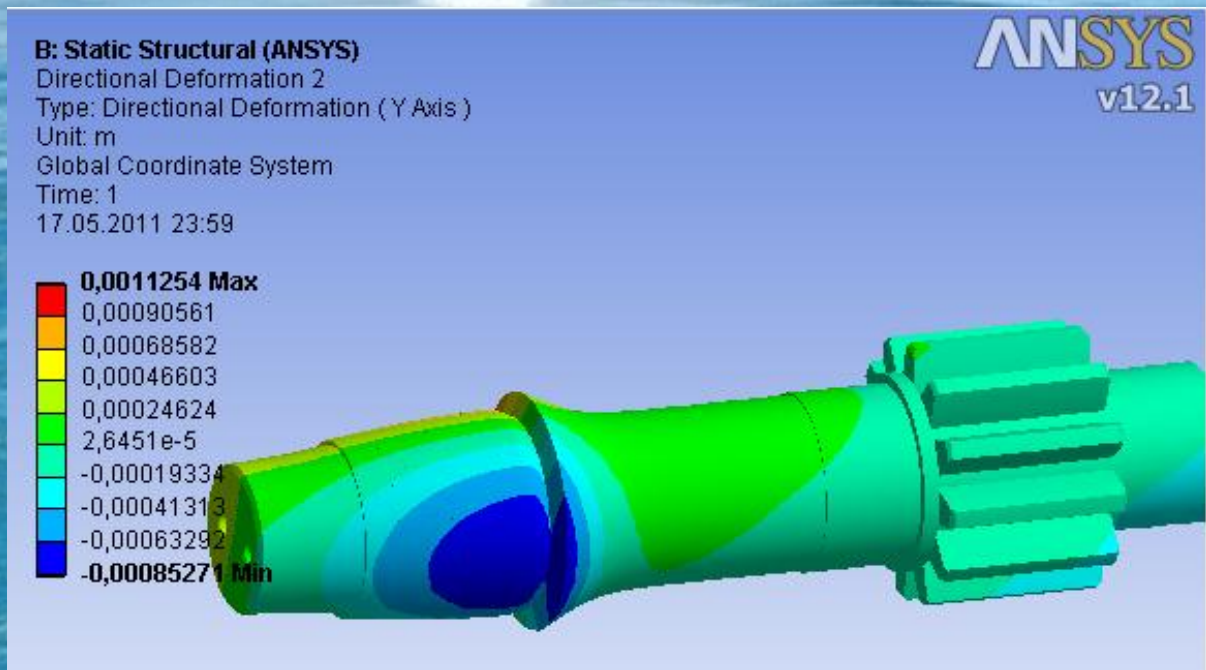
1487,8 Max  
1325  
1162,1  
999,23  
836,36  
673,48  
510,61  
347,74  
184,87  
22 Min



Розподілення температури при нагріві під час наплавлення



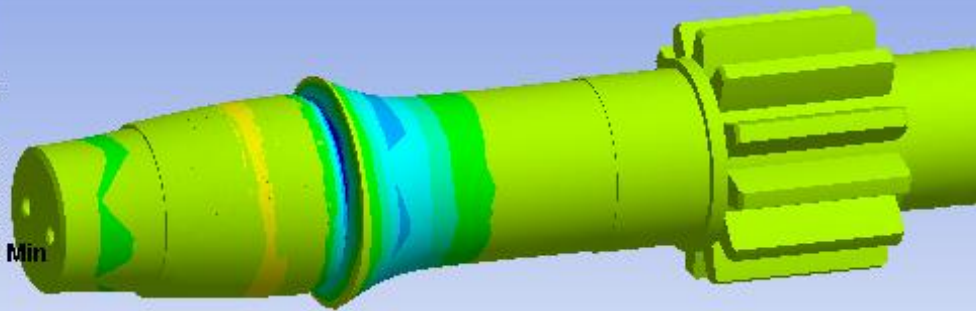
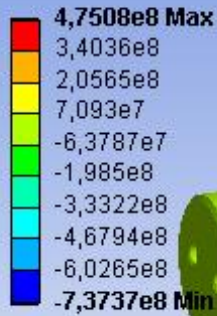
Деформації які утворились відносно осі X і Y- після наплавлення відносно осі X



Деформації після наплавлення відносно осі Y

**B: Static Structural (ANSYS)**  
Normal Stress  
Type: Normal Stress ( X Axis )  
Unit: Pa  
Global Coordinate System  
Time: 1  
17.05.2011 23:59

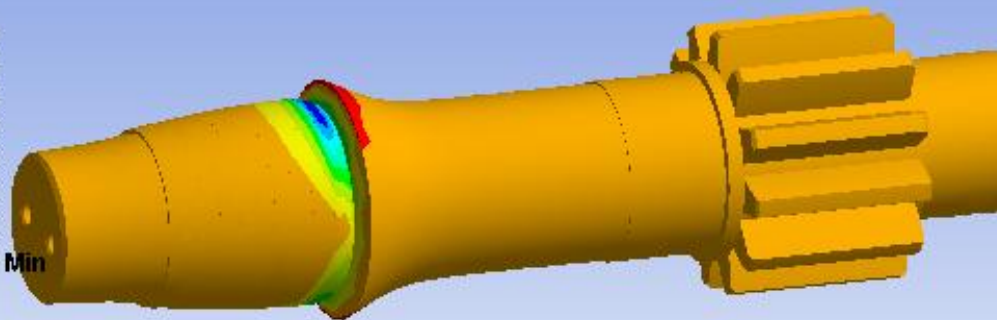
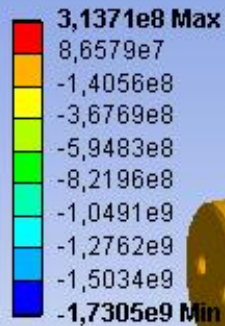
**ANSYS**  
v12.1



Напруження які утворюються після наплавлення відносно осі X

**B: Static Structural (ANSYS)**  
Normal Stress 2  
Type: Normal Stress ( Y Axis )  
Unit: Pa  
Global Coordinate System  
Time: 1  
17.05.2011 23:59


**ANSYS**  
v12.1



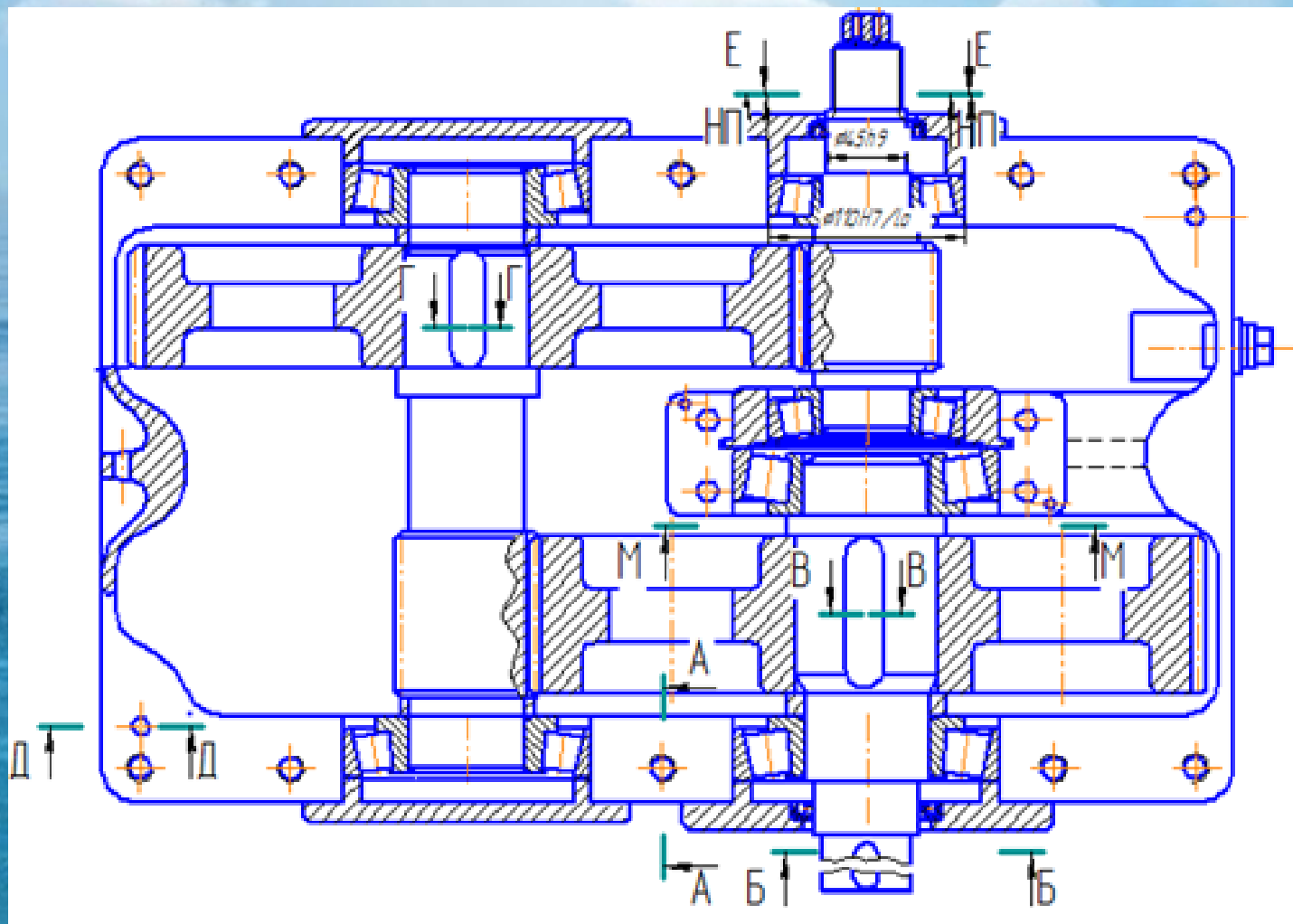
Температурний вплив дозволяє розрахувати напруження та деформації деталі, що відновлюється .

Розрахунок наведено для вал-шестерні при наплавленні в середовщі  $\text{CO}_2$  дротом Нп-30ХГСА на режимах:  $I=197$  А;  $U=21,78$  В;  $V_H=20,6$  м/хв.;  $S_H=4,4$  мм.

Розрахунки показали, що температурні поля, які утворюються в процесі відновлення вал-шестерні виникають під час завершальної стадії наплавлення, що призводить до суттєвої зміни структури матеріалу вал-шестерні та появи теплових напружень. Для поліпшення якості відновленої деталі, її структурного та напруженого стану, необхідно провести термічну обробку.



**РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ  
ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛ-  
ШЕСТЕРЕНІ**

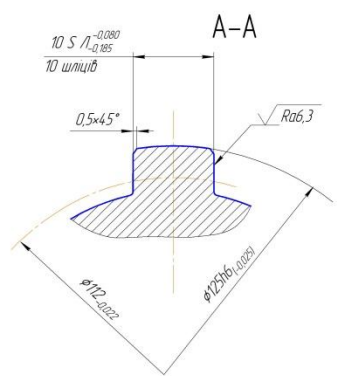
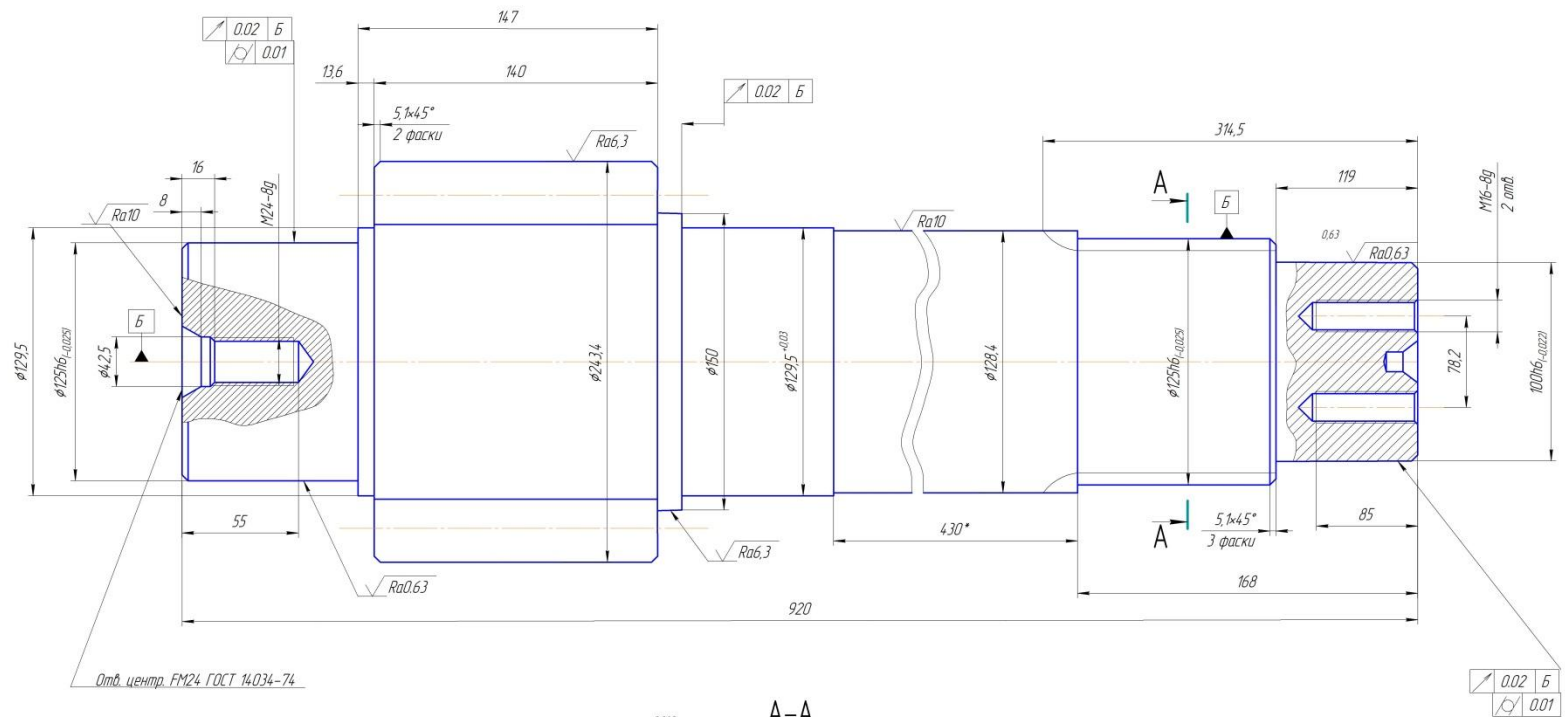


Поворотный редуктор комбайна 02-K101



3D - модель вал-шестерні

Модуль	<i>m</i>	14
Число зубців	<i>z<sub>1</sub></i>	12
Дільний діаметр	<i>d<sub>2</sub></i>	168 мм
Діаметр валин зубців	<i>d<sub>1</sub></i>	138,5 мм



1. H14, h14, z = 12
2. 56-62 HRC<sub>3</sub>
3. Неказані радіуси зкруглень 15мм.
4. \*Розміри для довідок.

08-27.MKP.001.00.00				Лист	Маса	Масив
Вал-шестерня редуктора 02-К101				59		12
Мат. сталь	№ докум.	Лист	Дата	Лист	Листов	
Розроб.	Начисл. Д.В.					
Проб.	Штукна Д.П.					
Ласюк						
Начисл. змін	Позначк. /Л					
Сталь 20Х2Н4А ГОСТ 4543-85				ВНТУ, зр. 138-11		
				Калоритал Формат А1		

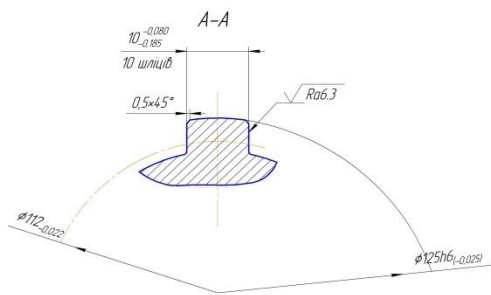
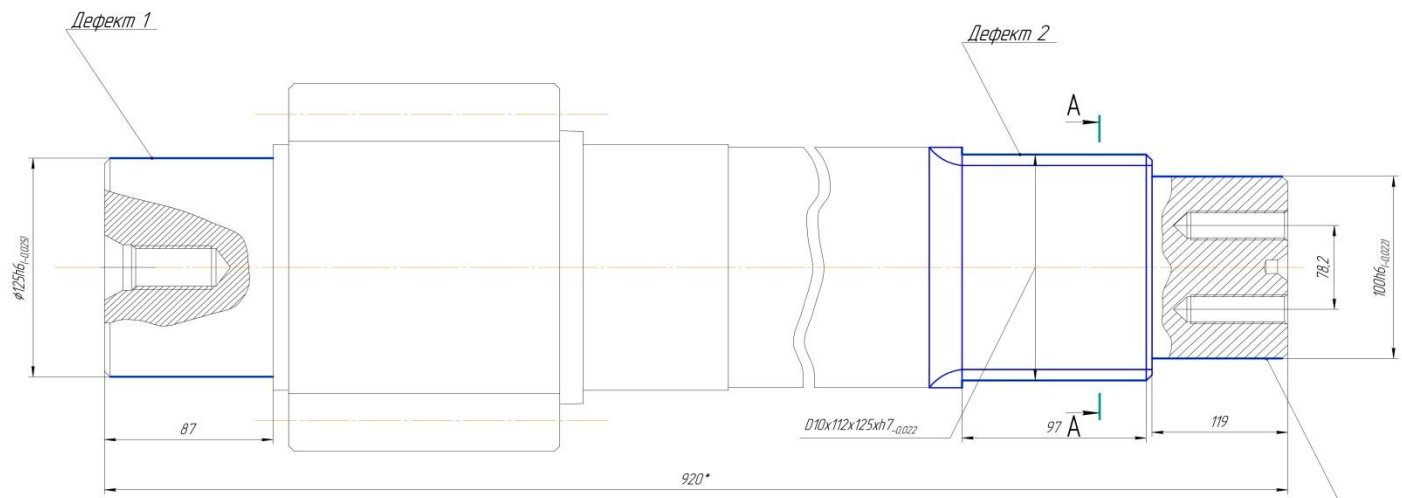


Таблиця 1.1- Хімічний склад % сталі 20X2H4A

C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Cu
0.16 ...	0.17...	0.3...	3.25...	1.25...	до	до	до
0.22	0.37	0.6	3.65	1,65	0.025	0,025	0.3

Таблиця 1.2 -Технологічні якості сталі 20X2H4A

<b>Зарюванність</b>	<b>Важко зварюється</b>
<b>Флокеночутливість</b>	<b>чутлива</b>
<b>Схильність до відпускнуї крихкості</b>	<b>малосхильна</b>

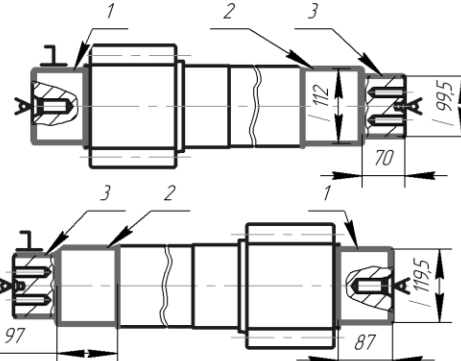
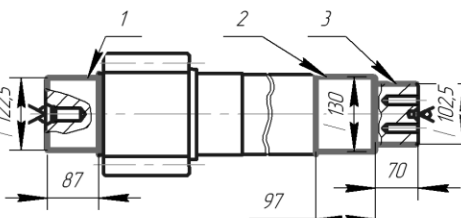
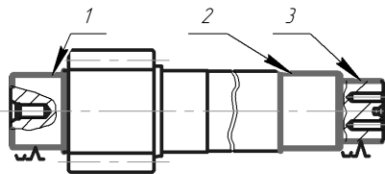


1. Н14, Н14, z 2
2. 56.62 ННГ<sub>3</sub>
3. Неказані радіуси скруглень 1.5мм
4. \*Размери для довідок.

Дефекти	Коеф		Основний спосіб	Допоміжний спосіб
1 Знос поверхні до розміру φ119.978	0.8	0.8	Наплавлення в середовищі захисних газів	Плазмове напильня
2 Знос поверхні до розміру φ124.975	0.8	0.8	Наплавлення в середовищі захисних газів	Плазмове напильня
3 Знос поверхні до розміру φ99.978	0.8	0.8	Наплавлення в середовищі захисних газів	Плазмове напильня

08-27.МКР.001.01.001 Р				Лист	Масса	Масштаб
Вал-шестерня редуктора 02-К101				59	12	
Сталь 20Х2Н4А ГОСТ 4543-71 ВНТУ, гр.13В-17М				Листов	Листов	Т
Копирбай				Формат А1		

# Ремонтне креслення вал-шестерні

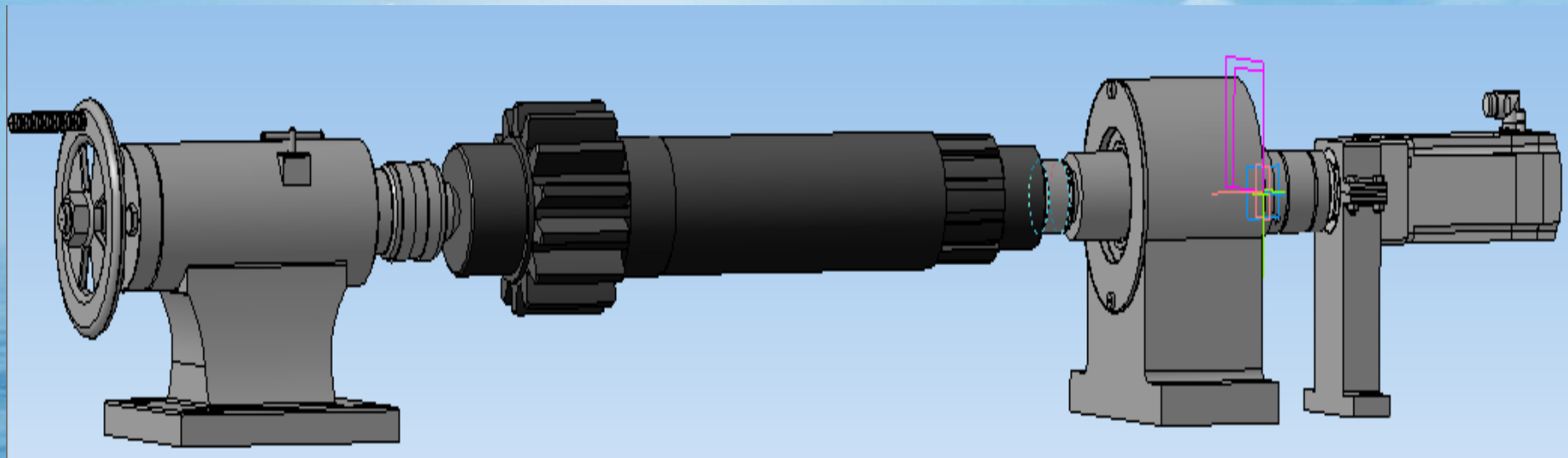
№ операції	Найменування операції та технічних переходів	Операційний ескіз	Обладнання
005	<p>Мийна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Мити в розчині "Ладамід"</li> </ol>		<p>Струменево камерна машина ОМ4610</p>
010	<p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Точити поверхню 1 згідно ескізу до розміру <math>\phi 119,5\text{мм}</math></li> <li>Точити поверхню 2 згідно ескізу до <math>\phi 112\text{мм}</math></li> <li>Точити поверхню 3 згідно ескізу до розміру <math>\phi 99,5\text{мм}</math></li> </ol>		<p>1. Токарно-гвинтовий верстат 16К20Ф3</p>
015	<p>Наплавлювальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Наплавити поверхню 1 згідно ескізу до <math>\phi 122,5\text{мм}</math></li> <li>Наплавити поверхню 2 згідно ескізу до <math>\phi 130\text{мм}</math></li> <li>Наплавити поверхню 3 згідно ескізу до <math>\phi 102,5</math></li> </ol>		<p>1. Установка з ЧПК</p>
020	<p>Термічна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Установити і зняти деталь</li> <li>Провести відпуск</li> </ol>		<p>1. Індуктивна піч ВЧГ-3-160/0,066</p>

## Технічний процес відновлення вал-щестерні

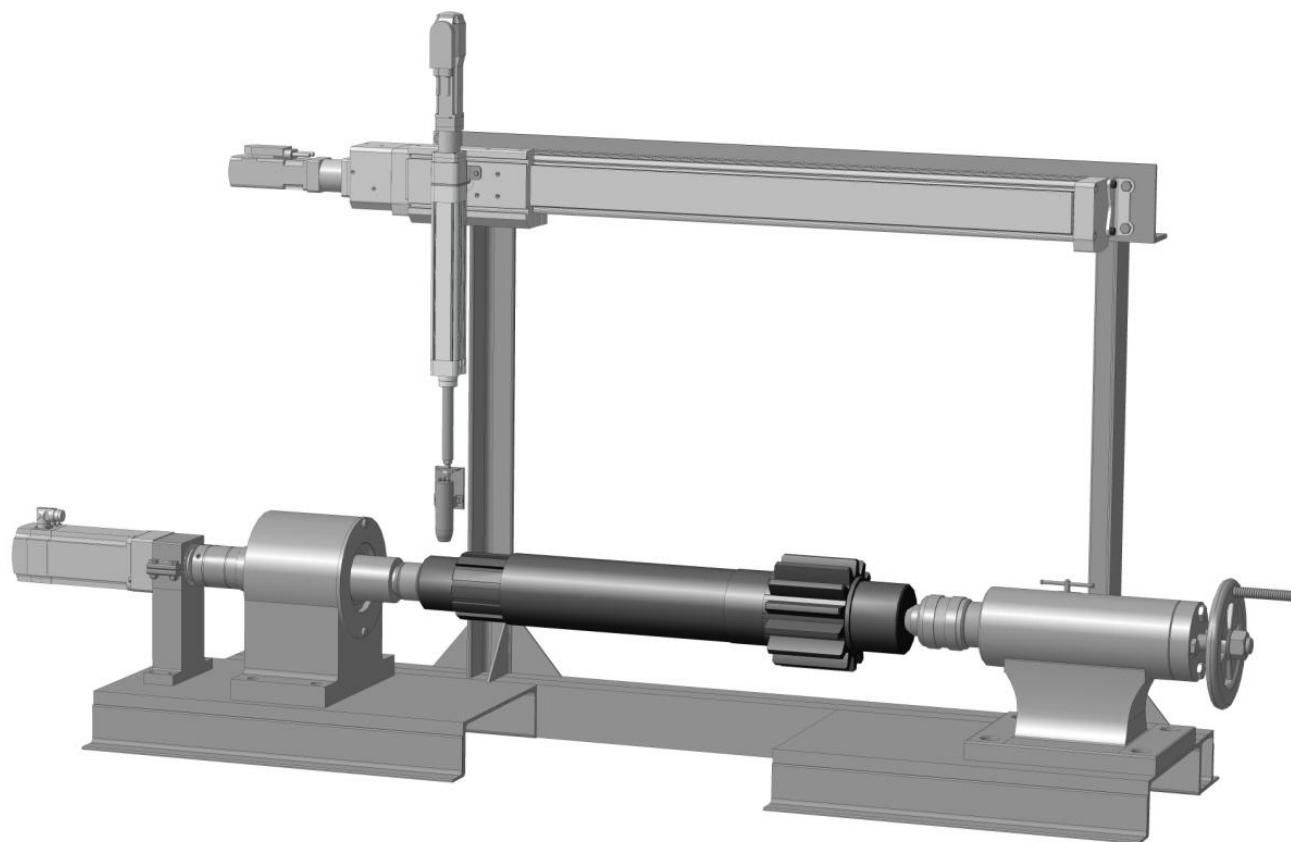
№ операції	Найменування операції та технічних переходів	Операційний ескіз	Обладнання	№ операції	Найменування операції та технічних переходів	Операційний ескіз	Обладнання
025	<p>Токарна</p> <p>1. Установити і зняти деталь</p> <p>2. Точити поверхню 1 згідно ескізу до <math>\phi 121,09</math> мм</p> <p>3. Точити поверхню 2 згідно ескізу до <math>\phi 126,09</math> мм</p> <p>4. Точити поверхню 3 згідно ескізу до <math>\phi 101,09</math> мм</p>		<p>1. Токарно-гвинтовий верстат 16К20Ф3</p>	050	<p>Слюсарна</p> <p>1. Видалити графітові вставки</p> <p>2. Прогнати різьбу</p>		Слюсарний стіл
				055	<p>Контрольна</p> <p>1. Контроль поверхні 1 згідно ескізу</p> <p>2. Контроль поверхні 2 згідно ескізу</p> <p>3. Контроль поверхні 3 згідно ескізу</p> <p>4. Щорсткість одродки поверхонь відхилення розмірів</p>		1. Стіл контрольний
030	<p>Фрезерувальна</p> <p>1. Установити і зняти деталь</p> <p>2. Фрезерувати поверхню 2 згідно ескізу до параметрів <math>D10 \times 112 \times 125</math></p>		1. Фрезерний верстат 67К16П	035			
035	<p>Термічна</p> <p>1. Установити і зняти деталь</p> <p>2. Провести гартування</p>		1. Індуктивна піч ВЧГ-3-160/0,066	040			
040	<p>Шліфувальна</p> <p>1. Установити і зняти деталь</p> <p>2. Шліфувати поверхню 2 згідно ескізу до розмірів <math>D10 \times 112 \times 125 \times h7_{-0,022}</math></p>		1. Шліфувальний верстат МШ248	045			
	<p>Шліфувальна</p> <p>1. Установити і зняти деталь</p> <p>2. Шліфувати поверхню 1 до розміру <math>120,14</math> мм</p> <p>3. Шліфувати поверхню 3 до розміру <math>100,1</math> мм</p> <p>4. Шліфувати поверхню 1 згідно ескізу до розміру <math>120h6_{(-0,022)}</math></p> <p>5. Шліфувати поверхню 3 згідно ескізу до розміру <math>100h6_{(-0,022)}</math></p>		1. Шліфувальний верстат 3М163В				



# **Конструктивна схема верстата з ЧПК**



Вузол обертання деталі



3D модель установки з ЧПК

Використання модернізованого технологічного процесу на підприємстві дозволить отримати позитивний економічний ефект.

Впровадження модернізованого технологічного процесу потребує від інвестора 11000 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 4491163,2 грн.

При оцінці ефективності інноваційного проекту отримані такі важливих показників, як:

- чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект) 9449552 грн.;
- внутрішня норма дохідності (прибутковості) 30%;
- термін окупності 0,125 року.

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



# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

В магістерській кваліфікаційній роботі наведені наступні основні результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень:

- розподіл температурних полів має неоднорідний характер, що спричинено різною інтенсивністю відходу тепла із зони нанесення покриття у різних напрямках.
- експериментально досліджено, що під дією теплових процесів при різних електродугових способах наплавлення відбуваються перетворення в зоні термічної дії, які суттєво впливають на мікроструктуру, а отже і на властивості навколошовної зони;
- при використанні електродугового способу наплавлення з'являється можливість розробки нових принципів конструювання деталей машин і вузлів, внесення корінних змін в технологію виготовлення виробів. При таких способах наплавлення можна змінюючи властивості різних ділянок деталі та навколошовної зони, виготовленої з порівняно недорогого конструкційного матеріалу одержати сплави на робочій поверхні деталі з унікальними характеристиками міцності, зносостійкості і корозійної стійкості;
- показані температурні поля, які виникають в процесі відновлення вал-шестерні. Найбільший нагрів виникає під час завершальної стадії наплавлення, що призводить до суттєвої зміни структури матеріалу вал-шестерні та появи теплових напружень. Для поліпшення якості відновленої деталі, її структурного та напруженого стану, проведена термічна обробка.
- на базі вузлів фірми Festo розроблена установка з числовим програмним керуванням для відновлення робочих поверхонь деталі, яка значно підвищує якість процесу;
- використання модернізованого технологічного процесу на підприємстві дозволить отримати позитивний економічний ефект і потребує від інвестора 11000 грн. капітальних вкладень.
- термін окупності 0,125 року.
- технологічний процес відновлення відповідає вимогам охорони праці та безпеки в надзвичайній ситуації. Для забезпечення чистоти повітря і нормалізації параметрів мікроклімату, передбачена витяжна система вентиляції.

Дякую за увагу!

