

**Магістерська кваліфікаційна робота на тему:  
Підвищення якості відновлення робочих поверхонь гребного гвинта  
судна**

Виконав: ст. гр. 13В-18м

Шаргородський К.С.

Науковий керівник: д.т.н., проф.

Савуляк В.І.

# Вступ

**Мета і завдання досліджень.** Мета даної роботи полягає в підвищенні ресурсу гребних гвинтів шляхом відновлення робочих поверхонь. Для цього необхідно розв'язати наступні задачі:

- аналіз службового призначення гребного гвинта;
- виконати аналітичний огляд відомих джерел інформації з питань дослідження процесів, які відбуваються в матеріалі гребних гвинтів під впливом кавітації та дії агресивного середовища;
- вибір та технічне обґрунтування методів відновлення пошкоджених ділянок поверхонь гребного гвинта;
- вибір матеріалів для відновлення пошкоджених ділянок поверхонь гребного гвинта;
- проектування технологічного процесу відновлення робочих поверхонь гребних гвинтів;
- розробка рекомендацій для відновлення гребних гвинтів.

**Об'єкт дослідження** – процеси пошкодження матеріалу кавітацією та подовження ресурсу гребних гвинтів.

**Предмет дослідження** – структурно-фазовий стан відновлення враженої зони гвинта.

**Методи дослідження.** Планування експерименту та обробка результатів досліджень проводились за допомогою статистичних методів. Контроль якості експериментальних зразків здійснювався шляхом виготовлення мікрошліфів і дослідженням мікроструктури металу, дюрOMETричним методом з використанням мікротвердоміра ПМТ-3.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше встановлено, що навколо ерозійного пошкодження матеріалу гвинта існує зона корозійного враження та розрихлення металу на глибину до 2 – 3 мм;
- вперше встановлено, що заварювання раковин від кавітаційного пошкодження може бути виконане електродуговим наплавленням з додаванням легуючих порошків;
- отримали подальший розвиток механізми кавітаційного пошкодження та гідравлічної ерозії.

## Дослідження якості відновлення зразків виготовлених зі сталі X12МФ

Зразки відновлено електродуговим наплавленням дроту Св-08Г2С діаметром 1,2 мм. Для моделювання процесу відновлення лопатей гребного гвинта в зразку висвердлено 3 отвори діаметром 16 мм та глибиною 6, 8 і 10 мм. Відновлення проводилось при силі струму 100 А в середовищі аргону.



Рисунок 1 – Зразок зі сталі X12МФ

В отвір №1 глибиною 6 мм було додано порошки хрому (8%) і молібдену (0,5%), в отвір №3 глибиною 10 мм – 12% хрому і 0,5% молібдену. Отвір №2 глибиною 8 мм наплавлено без домішків.

Для фіксації легуючих порошків в отворах застосовувався силікатний клей. Після засихання клею зразок витримували в печі для випаровування вологи.

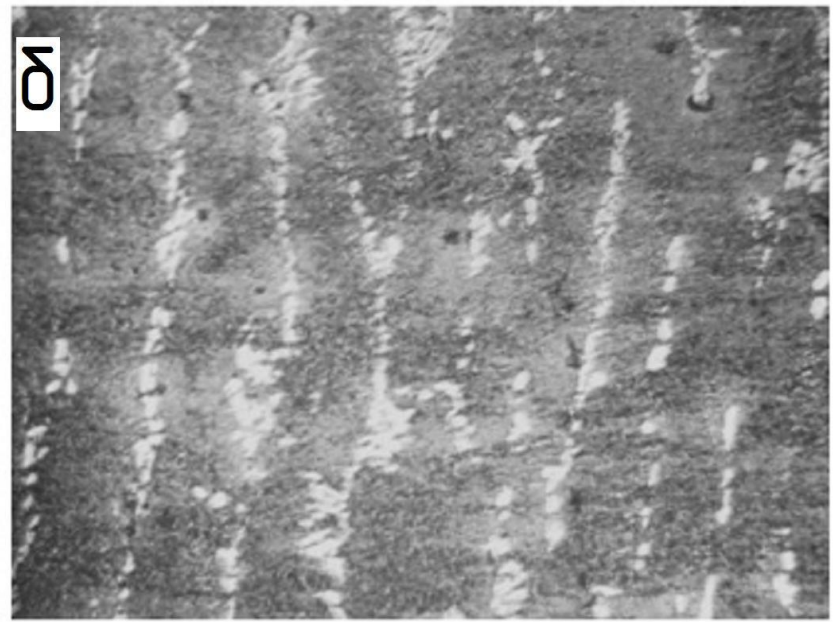
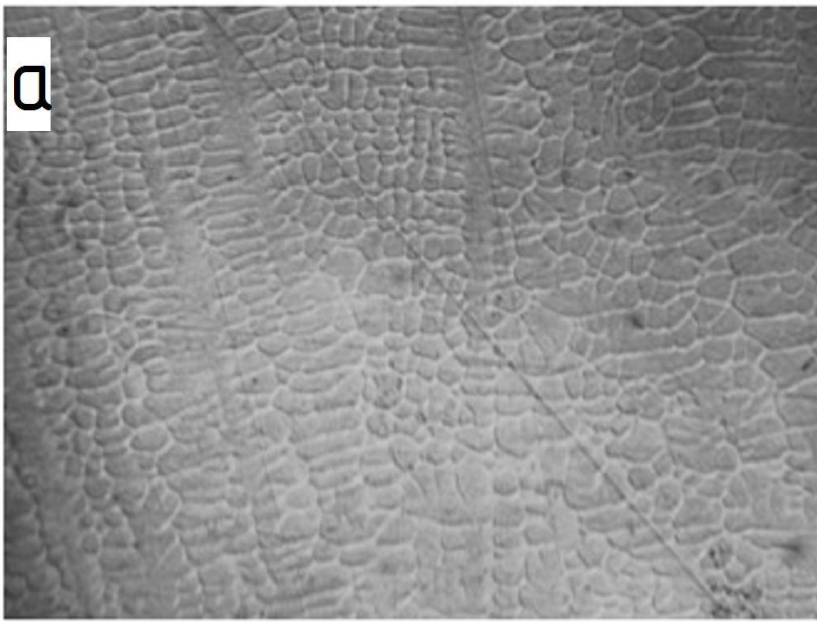


Рисунок 2 – Структура металу першого зразка: а – наплавлений метал; б – основний метал; в – перехідна зона

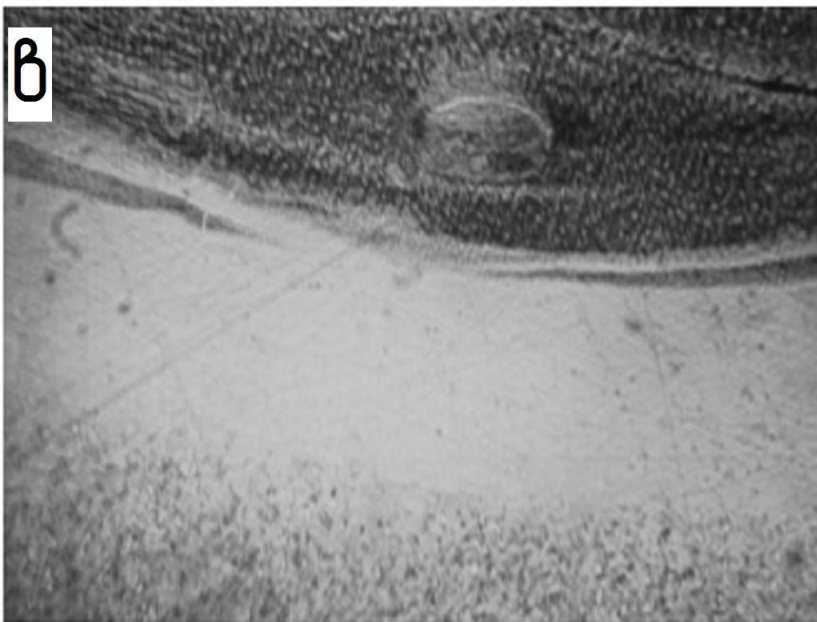
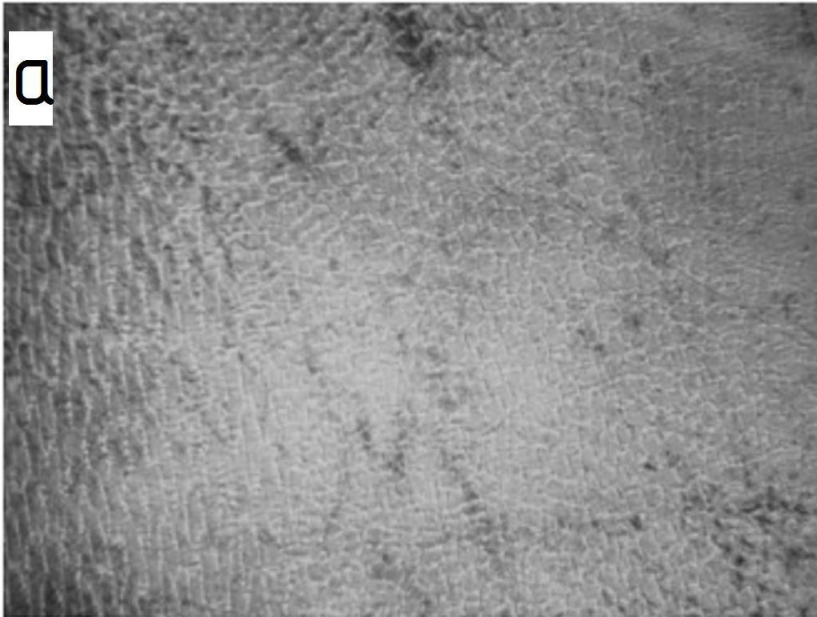


Рисунок 3 – Структура металу другого зразка: а – наплавлений метал; б – основний метал; в, г – перехідна зона

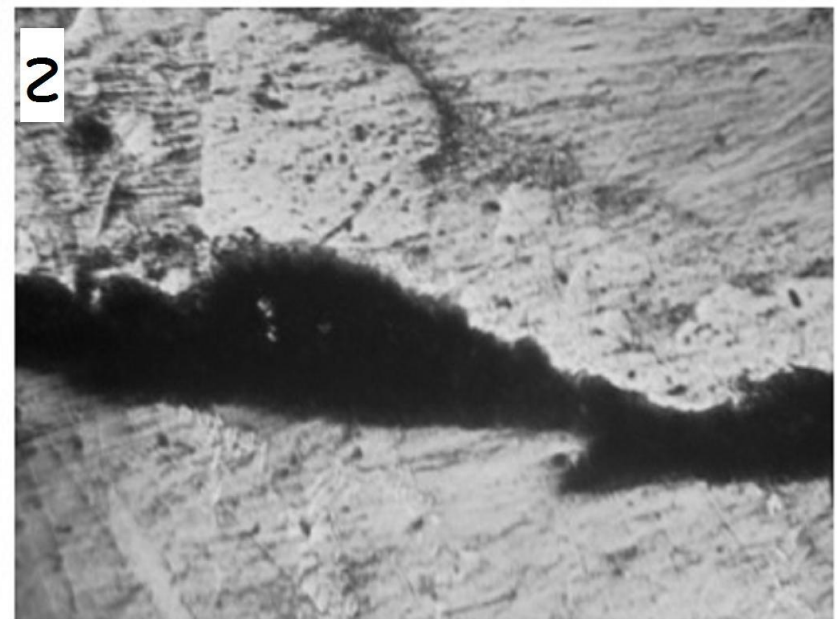
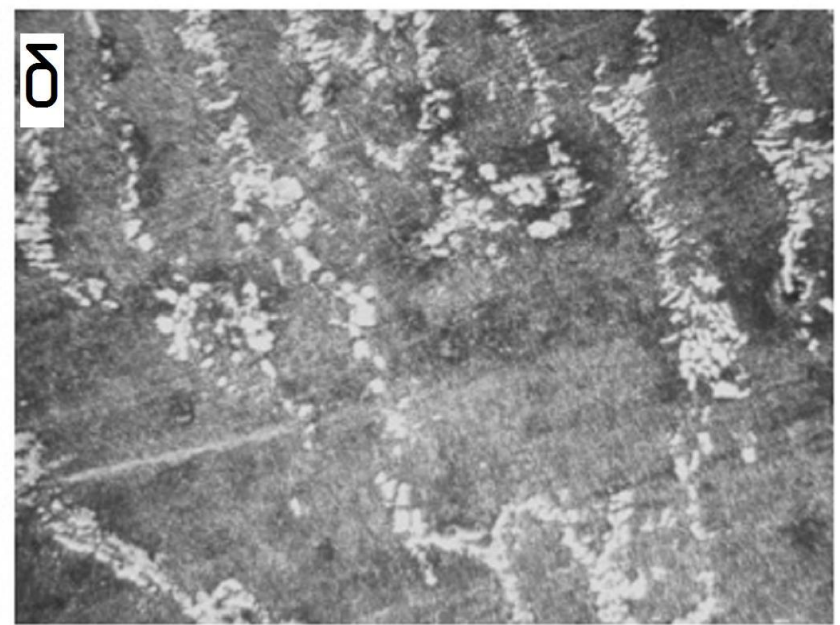
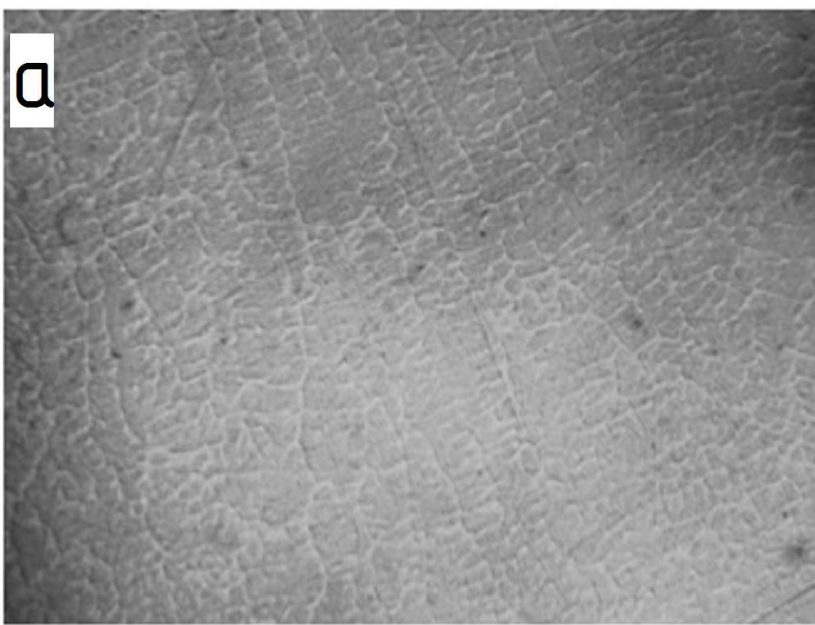
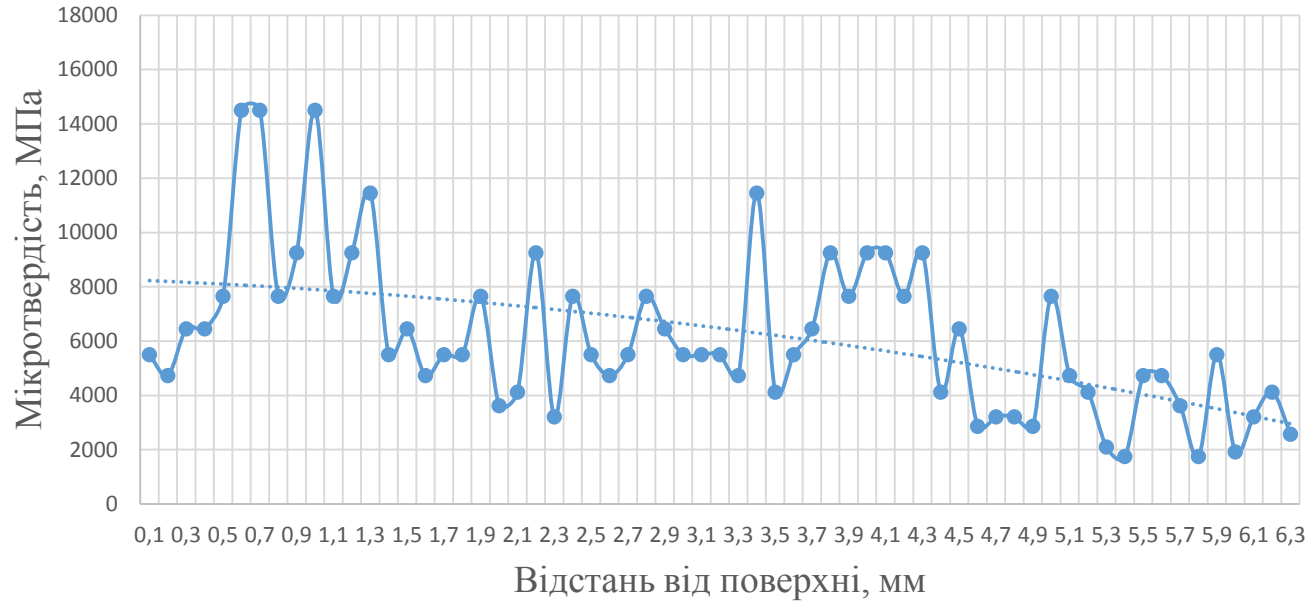


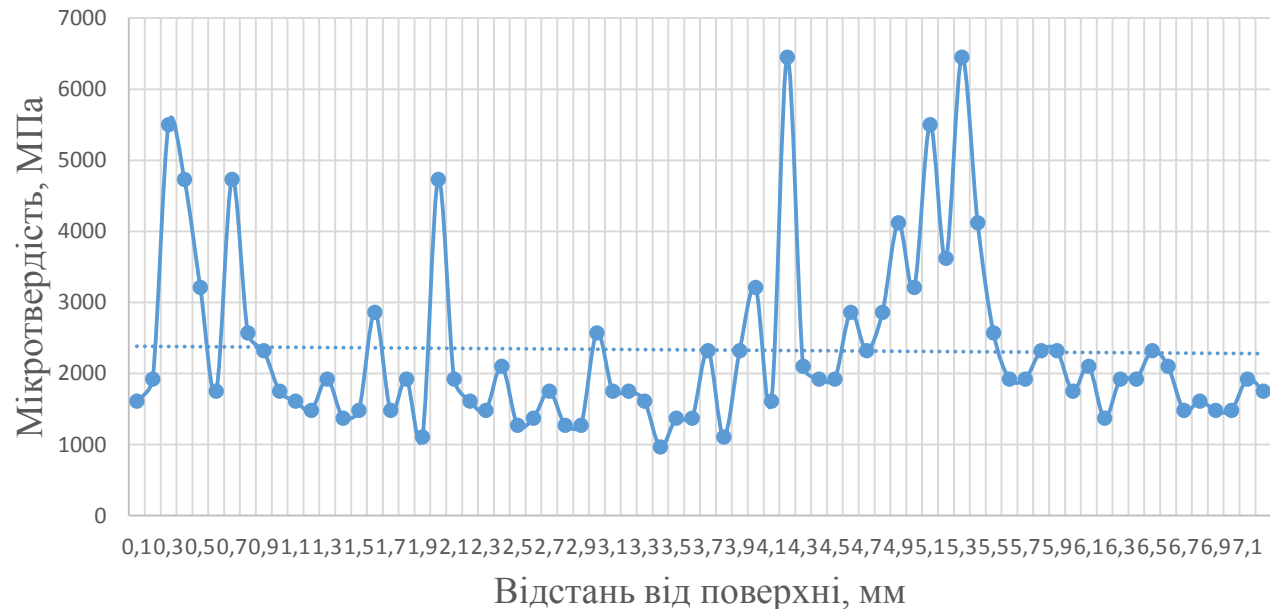
Рисунок 3.4 – Структура металу третього зразка: а – наплавлений метал; б – основний метал; в – раковина в наплавленому металі; г – тріщина в перехідній зоні

# Графіки мікротвердості

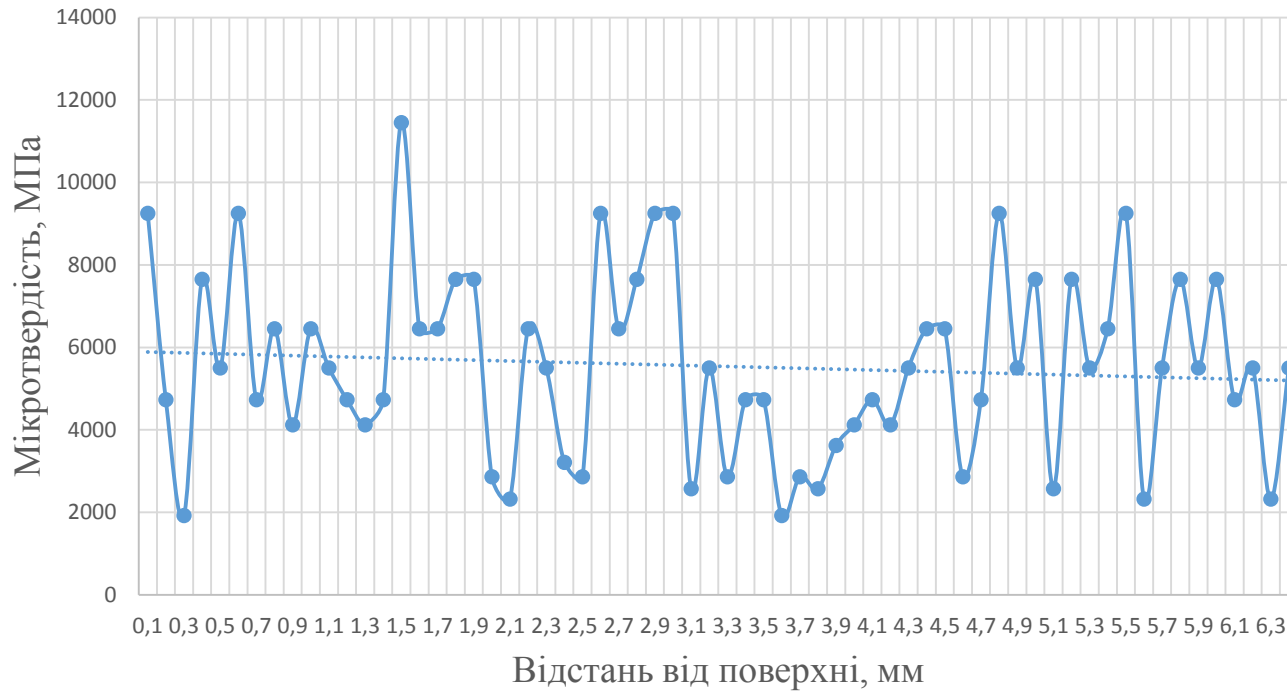
1 зразок



2 зразок



3 зразок



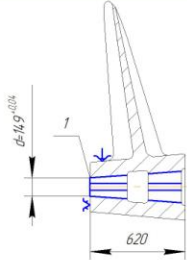
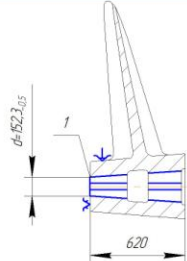
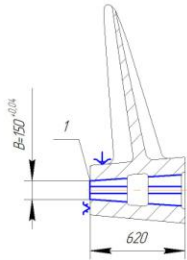
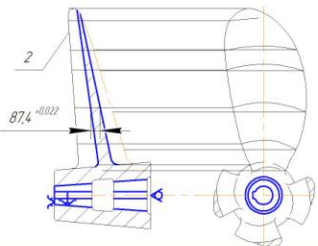
Твердість за Роквеллом першого зразка  $HRC_1 = 59$ , другого  $HRC_2 = 37$ , третього  $HRC_3 = 47$ . Твердість перехідної зони другого зразка – 50 одиниць.

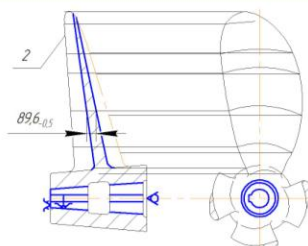
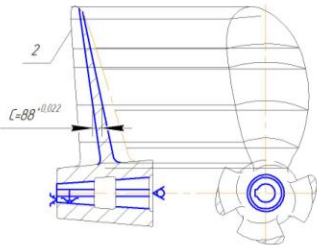
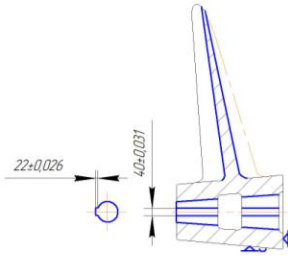
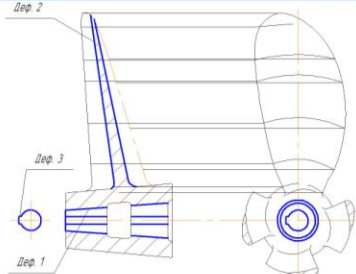
Твердість основного металу складає  $HRC_{осн} = 29$ .

Для зменшення напружень в перехідній зоні та покращення мікроструктури і досягнення більшої однорідності сталі рекомендується проводити ізотермічний відпал при нагріванні до температури 850-870 °С з охолодженням зі швидкістю 40 град/год до 700-720 °С, витримкою 3-4 години та подальшим охолодженням зі швидкістю 50 град/год до температури 550 °С. Після цього деталь охолоджують на повітрі.



# Технологічний процес відновлення гребного гвинта

№	Найменування операцій та технічних переходів	Схема встановлення	Обладнання
005	<p>Мийно-очисна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Мити деталь розчином МС-8.</li> </ol>		Струменева-конвеєрна мийна машина "Гейзер" АПУ.
010	<p>Дефектувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дефектувати деталь.</li> </ol>		Контрольний стіл.
015	<p>Розточувальна (попередня)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Розточити поверхню 1 до розміру <math>d=14,9^{+0,04}</math> мм.</li> </ol>		Вертикальний токарний верстат СКАА64.5131.
020	<p>Наплавляльна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Наплавити поверхню 1 до розміру <math>d=152,3_{-0,1}</math> мм.</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установка для автоматичної наплавки У-50х7000.</li> <li>2. Универсальный зваривальный выпрямляч ВДУ-505.</li> </ol>
025	<p>Розточувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Розточити поверхню 1 начерно до розміру <math>B=150,08^{+0,16}</math> мм.</li> <li>3. Розточити поверхню 1 начисто до розміру <math>B=150,471^{+0,04}</math> мм.</li> </ol>		Вертикальний токарний верстат СКАА64.5131.
030	<p>Шліфувальна (попередня)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Шліфувати поверхню 2 попередньо до розміру <math>87,4^{+0,022}</math> мм.</li> </ol>		Шліфувальна машина Дніпро-М МШК-2300П.

035	<p><i>Наплавляльна</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Наплавити поверхню 2 до розміру <math>89,6_{-0,05}</math> мм.</li> </ol>		Зварювальний апарат інверторного типу ММА-210А «ТЕМП».
040	<p><i>Шліфувальна</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Шліфувати поверхню 2 до розміру <math>S=89,38_{-0,043}</math> мм (абдірне).</li> <li>3. Шліфувати поверхню 2 начарно до розміру <math>S=89,3_{-0,15}</math> мм.</li> <li>4. Шліфувати поверхню 2 начисто до розміру <math>S=89Н6^{(+0,022)}</math> мм.</li> </ol>		Шліфувальна машина Дніпро-М МШК-2300П
045	<p><i>Протягувальна</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Протягувати поверхню 3 до розміру <math>40JS9_{-0,071}^{+0,031}</math> мм по довжині і <math>22JS9_{-0,026}^{+0,026}</math> мм по глибині.</li> </ol>		Спеціальний протягувальний верстат.
050	<p><i>Термічна</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Провести високий відпуск при температурі <math>630^{\circ}\text{C}</math> з витримкою 3 години.</li> </ol>		Пальник лінійний багатафакельний "ДОНМЕТ 212".
055	<p><i>Контрольна</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та зняти деталь.</li> <li>2. Контролювати розмір поверхні 1 до розміру <math>d=150H7</math> мм.</li> <li>3. Контролювати розмір поверхні 2 до розміру <math>89H6</math> мм.</li> <li>4. Контролювати розміри поверхні 3 до розміру <math>40JS9</math> та <math>22JS9</math> мм.</li> </ol>		Контрольний стіл.

# Аналіз якості відновлення гребного гвинта

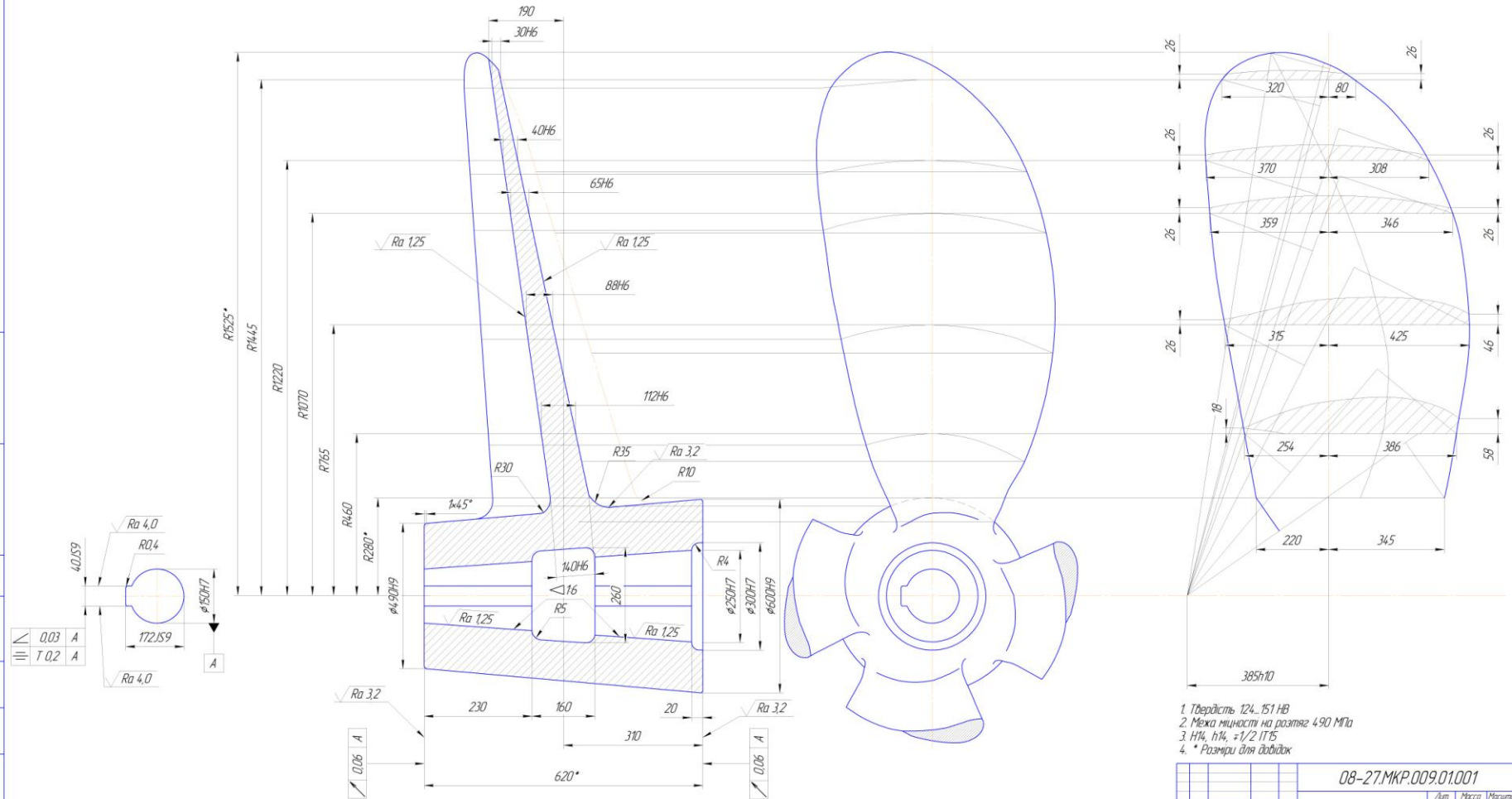


# Робоче креслення гребного гвинта

08-27.МКР.009.01.001

√ Ra 12,5 (√)

Елементи гвинта	
Кількість лопастей	Z=4
Діаметр гвинта	D=3,05 м
Крокове відношення	H/D=0,45
Дискове відношення	A/A=0,55
Вага гвинта	640 кг
Крок гвинта	H=1,36 м
Напрямок обертання	Правий



1. Твердість 124...151 НВ
2. Міжкільністі на розтяг 490 МПа
3. H4, H14, ±1/2 I T15
4. \* Розміри дані в міліметрах

√	0,03	A
	T 0,2	A

√	0,06	A
---	------	---

√	0,06	A
---	------	---

08-27.МКР.009.01.001

Лист	Маса	Матеріал
Гребний гвинт	640	14
Сталь 25Л ГОСТ 977-88	ВНТЧ	138-18м

Корпусовий Формат А1

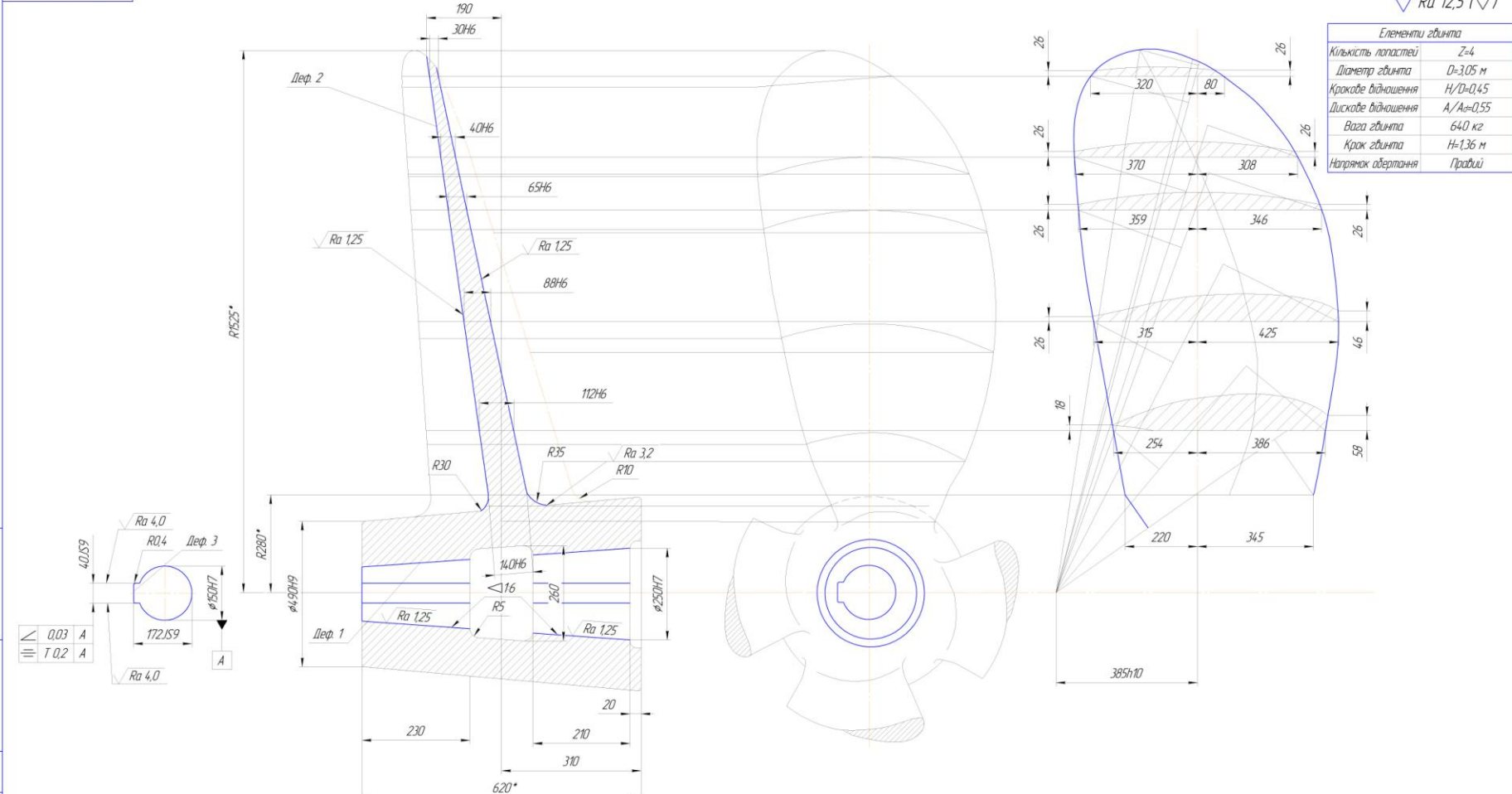
Лист 1 з 14  
Лист 2 з 14  
Лист 3 з 14  
Лист 4 з 14  
Лист 5 з 14  
Лист 6 з 14  
Лист 7 з 14  
Лист 8 з 14  
Лист 9 з 14  
Лист 10 з 14  
Лист 11 з 14  
Лист 12 з 14  
Лист 13 з 14  
Лист 14 з 14

# Ремонтне креслення гребного гвинта

08-27.МКР.009.01.001Р

√ Ra 12,5 (√)

Елементи гвинта	
Кількість лопастей	Z=4
Діаметр гвинта	D=3105 м
Крокове відношення	H/D=0,45
Дискове відношення	A/A <sub>н</sub> =0,55
Вага гвинта	640 кг
Крок гвинта	H=136 м
Напрямок обертання	Правий



№	Найменування дефекту	Коефіцієнт پذیرایی дефекту		Основний спосіб усунення дефекту	Допустимі способи усунення дефекту
		Від загальної кількості деталей що надійшли для дефектування	Від загальної кількості ремонтпридатних деталей		
1	Знос посадочного місця до розміру 251 мм	0,2	0,2	Наплавлення в Ag ел. дротом Св-08Г2С	Наплавлення ел. дротом Св-08Г2С під флюсом
2	Кавітаційні каверни	0,6	0,8	Наплавлення	Ручне дугове зварювання електродом ЗОНИИ Д/45
3	Знос шпандового паза по ширині	0,2	0,2	Наплавлення в Ag ел. дротом Св-08Г2С	Наплавлення ел. дротом Св-08Г2С під флюсом

1. Твердість 124...151 НВ
2. Межа міцності на розтяг 490 МПа
3. H14, h14, ±1/2 IT15
4. \* Розміри для двійкоз

Гребний гвинт не приймаєть на відновлення за наявності тріщин та сколів

08-27.МКР.009.01.001Р						Гребний гвинт			Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Виконав.	Перевірив.	Лист	Дата		Лист	640	14			
Проб.	Собудувач ВІ					Лист					
Нормувач	Собудувач ВІ					Сталь 25Л ГОСТ 977-88			ВНТЧ		
									136-16м		
						Корпусові			Формат А1		

# Висновки

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи підвищено ресурс гребних гвинтів шляхом відновлення робочих поверхонь електродуговим наплавленням в середовищі Ar.

Вперше встановлено, що навколо ерозійного пошкодження матеріалу гвинта існує зона корозійного враження та розрихлення металу на глибину до 2 – 3 мм.

Вперше встановлено, що заварювання раковин від кавітаційного пошкодження може виконуватись електродуговим наплавленням з додаванням легуючих порошків.

Отримали подальший розвиток механізми кавітаційного пошкодження та гідравлічної ерозії.

Огляд літературних джерел і аналіз фізичних механізмів кавітаційної ерозії показав, що головною причиною руйнування гребних гвинтів є не схлопування каверн, утворених внаслідок закипання рідини при низьких тисках, а аномальні механічні напруження в потоці, які виникають при високих швидкостях деформації. Ефект кавітаційної ерозії досі не знаходить належного пояснення, а гіпотези потребують більш глибоких експериментальних досліджень.

Розроблено маршрут відновлення гребного гвинта судна, який дозволяє значно збільшити ресурс роботи деталі.

Аналіз структури зразків дає можливість зробити такі висновки:

1. Оскільки перехідна зона всіх трьох зразків досить різка, що призводить до виникнення напружень і зниження кавітаційної стійкості сталі, то доцільно провести відпал для покращення мікроструктури і зменшення внутрішніх напружень за рахунок рекристалізації.

2. При заплавленні третього зразка утворилися раковина і тріщина, які виникли внаслідок неповного розплавлення легуючих порошків. Для запобігання утворенню цих дефектів необхідно використовувати порошковий дріт при наплавленні.

Розрахунок економічної ефективності інноваційного рішення показує, що відновлення гребного гвинта є економічно доцільним і дозволяє отримати економічний ефект  $E_{abc} = 6163118$  грн.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**