

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра ГМ

«ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ВАЛУ ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕДУКТОРА»

Виконав: ст. гр. 13В-19м
Бондаренко Ірина Олексіївна
Керівник: к.т.н., доц. Шиліна О. П.

Вінниця, ВНТУ – 2020

Актуальність теми

На даний час виняткового значення набувають дослідження в галузі матеріалознавства, одним з найважливіших завдань якого є встановлення взаємозв'язку між закономірностями процесів структуроутворення та між структурним і фазовим складом матеріалів, керуванням структуроутворення та механічними властивостями, крім механічних характеристик суттєве значення мають мікроструктура та фазовий склад поверхневих шарів, тому тема є актуальною, особливо, при відновленні робочих поверхонь деталей і це є актуальною проблемою.



Мета і задачі досліджень

Метою роботи є підвищення якості відновлення робочих поверхонь валу циліндричного редуктора шляхом нанесення покриття на поверхні валу карбоном в процесі наплавлення.

Задачі дослідження:

- Оцінити спосіб відновлення «Вал циліндричного редуктора» за основними трьома критеріями: технологічним критерієм, довговічності та економічної доцільності;
- Дослідити вплив карбону на утворення структури при наплавленні деталі наплавочним дротом Нп-30ХГСА та його вплив на мікроструктуру перехідної зони наплавленого шару та структуру поверхневих шарів;
- Спроекувати мундштук для наплавлення в CO_2 з метою стабілізації параметрів наплавлених валиків та створення ламінарного потоку захисного газу.

Об'єкт дослідження – процеси, що супроводжують утворення структури поверхневих шарів під впливом карбону в процесі наплавлення.

Предмет дослідження – закономірності утворення структури поверхневих шарів під впливом карбону в процесі наплавлення.

Наукова новизна одержаних результатів.

Основні результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень магістерської кваліфікаційної роботи наступні:

- Обґрунтована оцінка за основними трьома критеріями: технологічним критерієм, довговічності та економічної доцільності способу відновлення «Вал циліндричного редуктора»;
- Отримали продовження дослідження впливу карбону на утворення структури при наплавленні сталі 40Х наплавлювальним дротом Нп-30ХГСА та його вплив на мікроструктуру перехідної зони наплавленого шару і структуру поверхневих шарів.

Практичне значення одержаних результатів

- Проектуванні мундштука для наплавлення в CO_2 з метою стабілізації параметрів зварних швів та створення ламінарного потоку захисного газу.
- Розробки технологічного процесу відновлення з використанням електродугового наплавлення, який забезпечує відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь валу.
- Розробки установки з числовим програмним керуванням на базі вузлів компанії «Festo», що дозволяє проводити відновлення поверхонь деталей типу «вал»;
- Розробки робочого місця для реалізації технологічного процесу відновлення деталі.

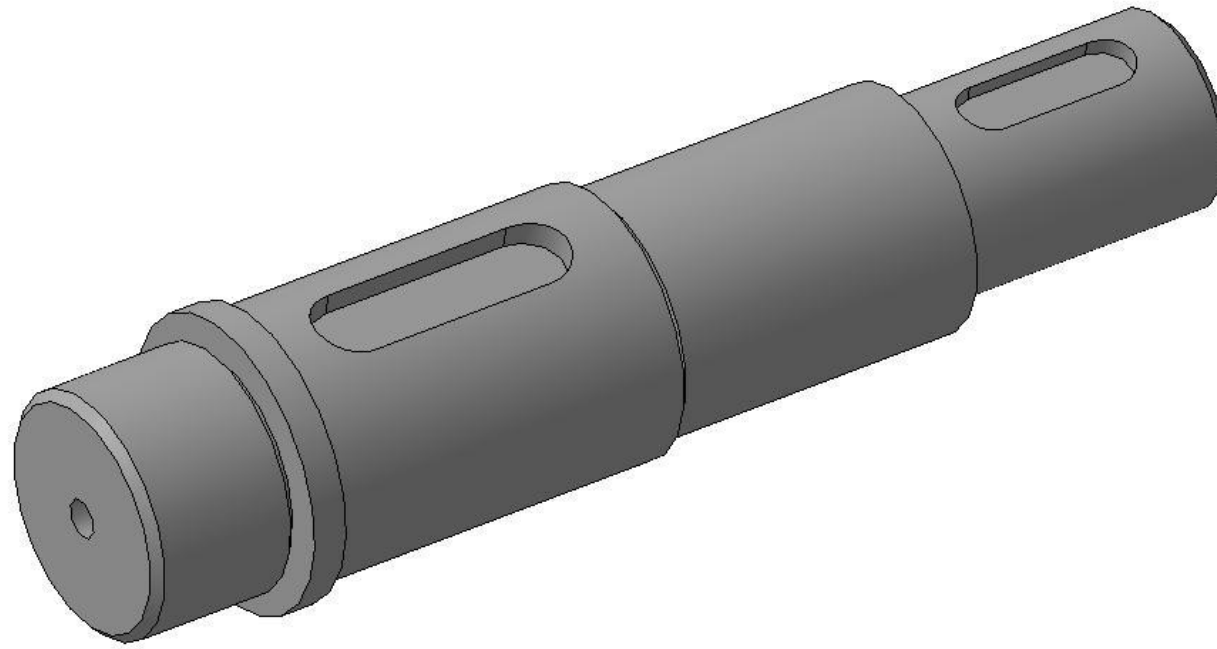
Апробація результатів наукової роботи

Основні положення та результати наукової роботи доповідалися й обговорювалися на XLIX Науково-технічній конференції факультету машинобудування та транспорту 2020 року.

Публікації.

1. Шиліна О.П. Аналіз вибору раціонального способу відновлення. [Електронний ресурс] / Шиліна О. П., Бондаренко І.О. // Матеріали тез доповідей КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання, XLIX Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2020) <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/9126/7952>
2. Янченко О.Б. Графітізована сталь та перспективи її впровадження у виробництво. [Електронний ресурс] /Янченко О. Б., Бондаренко І.О. // Матеріали тез доповідей КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання, XLIX Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2020) <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/9422/7961>
3. Шиліна О.П. Розрахунок розмірів сопла мундштука для наплавлення в CO₂. [Електронний ресурс] /Шиліна О. П., Бондаренко І.О. // Матеріали тез доповідей КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання, XLIX Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2021) <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/11027>

3D модель валу циліндричного редуктора



Аналіз вибору раціонального способу нанесення покриття

Критерії оцінки способу відновлення

➤ Технологічний критерій

відновлювання плазмовим, газополуменевим напилюваннями, наплавленням порошковим дротом , наплавленням в середовище вуглекислого газу

➤ Довговічності

визначає працездатність відновлених деталей і визначається коефіцієнтом довговічності k_a

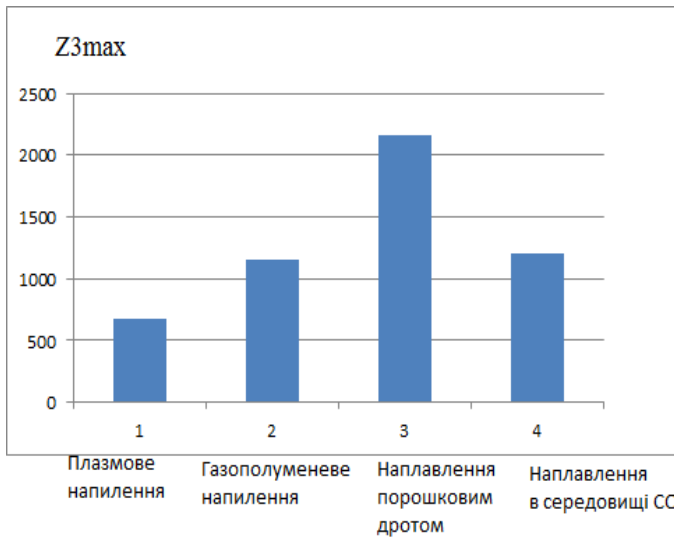
➤ Економічної доцільності

визначає вартість відновлення деталі

Вибір раціонального способу відновлення деталі

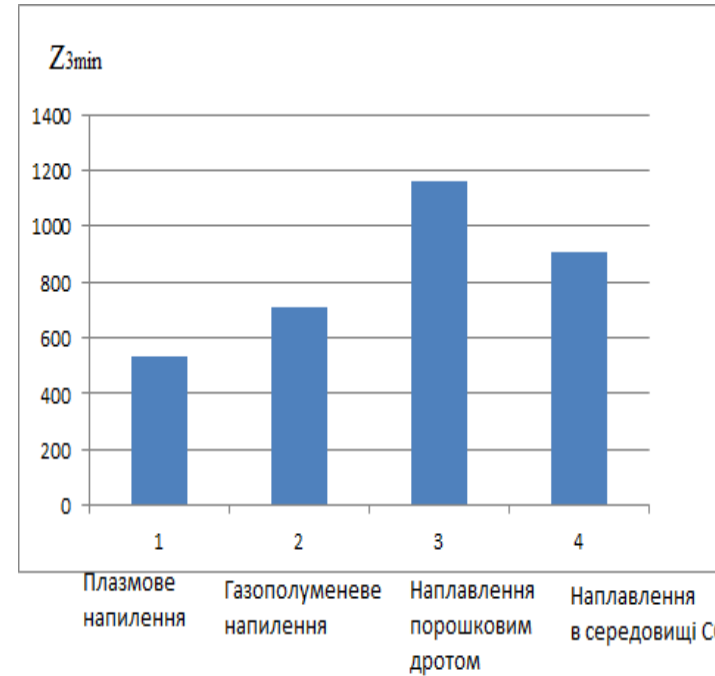
Спосіб відновлення	Оцінка способів відновлення за критеріями		
	технологічний	довговічності	економічності
Плазмове напилення	+	3,75	3,99 грн
Газополуменеve напилення	+	1	5,39 грн
Наплавлення порошковим дротом	+	6,25	7,98 грн
Наплавлення в середовищі CO ₂	+	6,25	3,57 грн

Величина шару нанесення покриття при max значенні припуску



Спосіб відновлення

Величина шару нанесення покриття при min значенні припуску



Спосіб відновлення

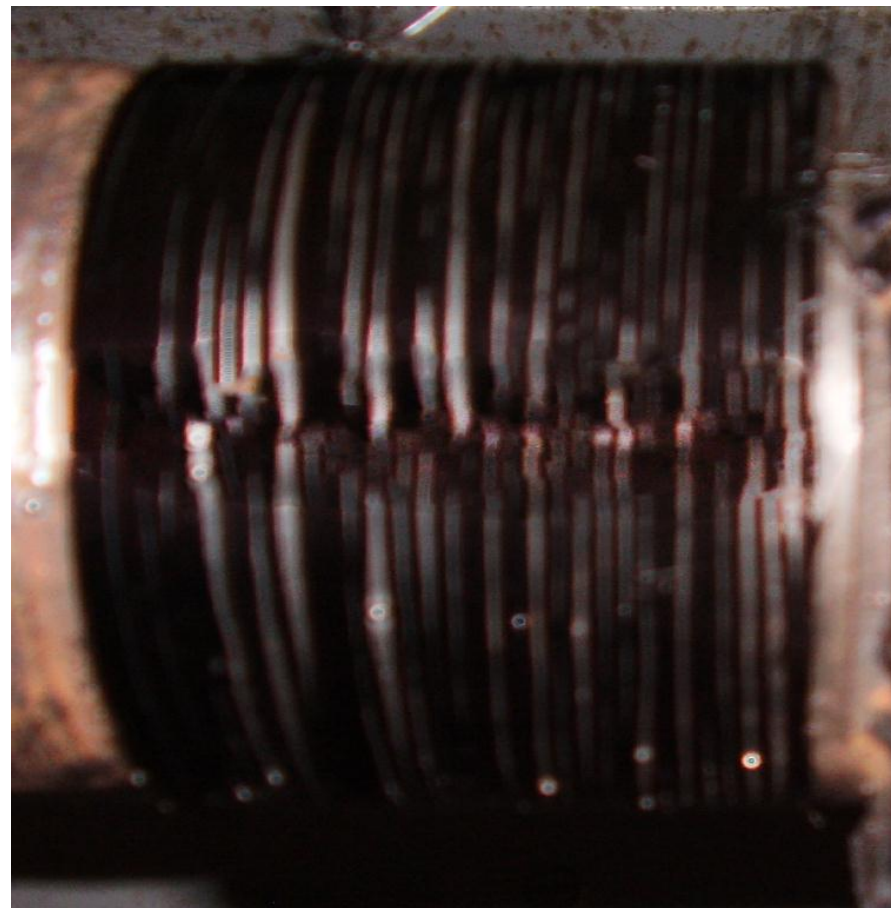
Аналіз утворення структури при наплавленні з використанням карбону

На зразки зі сталі 40Х наплавляли дріт Нп-30ХГСА діаметром 1,2 мм в середовищі CO_2 на установці УД-209М, з додаванням у зону сплавлення карбону, який є основним елементом утворення високовуглецевих шарів. Для збільшення вмісту вуглецю у покритті, як карбюризатор використовувався вуглевмісний матеріал у вигляді нитки марки УК-30 ТУ6-06-И78-85. При його вмісті в наплавленому шарі до 0.6% в сполученні з іншими карбідотвірними елементами утворюються сплави із доевтектоїдною структурою, що відрізняються високою ударною міцністю при порівняно високій зносостійкості. Внесення карбону відбувалось наступним чином: на поверхню, що наплавляється, намотувалась вуглецева нитка, яка під впливом високої температури електричної дуги розчиняється і карбон переміщується у зварювальній ванні з основним та наплавляємим металом.

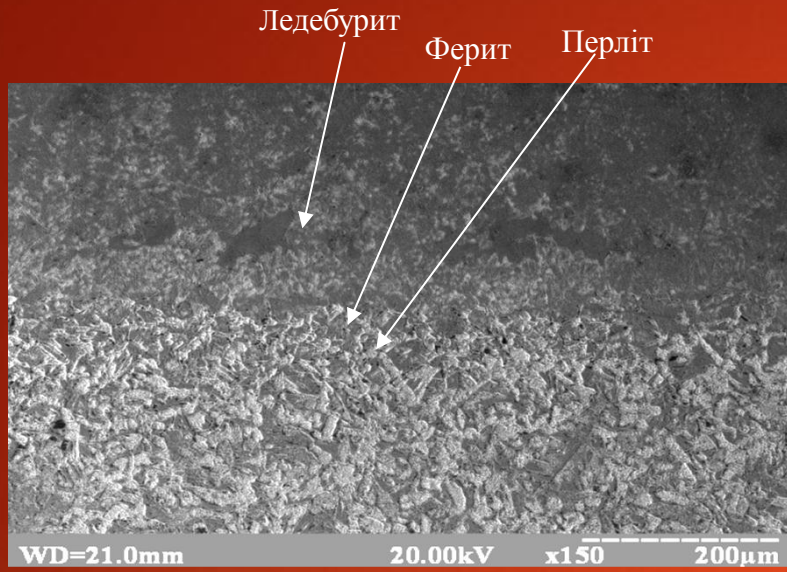
Режими наплавлення

Діаметр дроту d_e мм	1,2
Напруга на дузі U В	26
Сила струму I А	120
Швидкість подачі дроту $V_{\text{пп}}$ м/год	129
Швидкість наплавлення $V_{\text{нап}}$ м/год	36,3
Частота обертання наплавляємої деталі n об/хв	9,3
Крок наплавлення t мм	2,4
Зміщення дроту від zenіту l мм	5

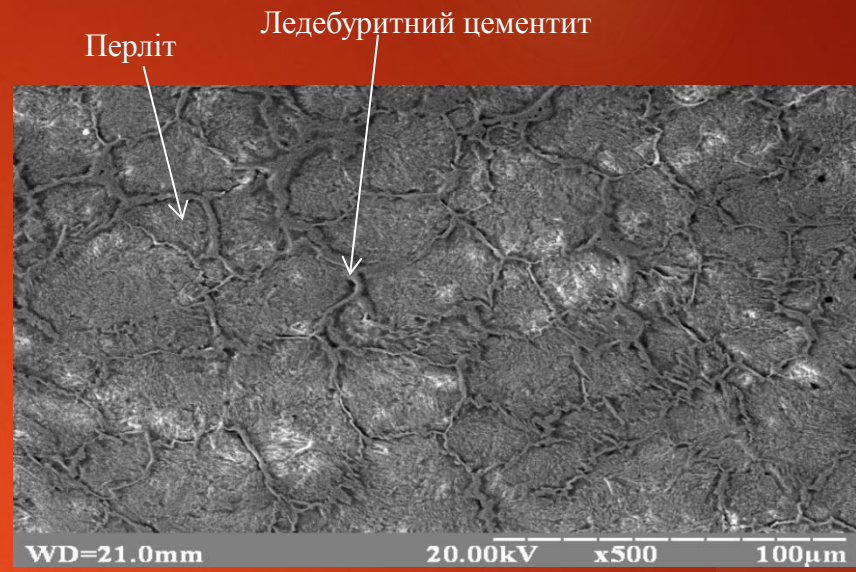
Намотка вуглецевої нитки на вал



Нижній підшар
наплавленого покриття



Середній підшар наплавленого
високовуглецевого покриття

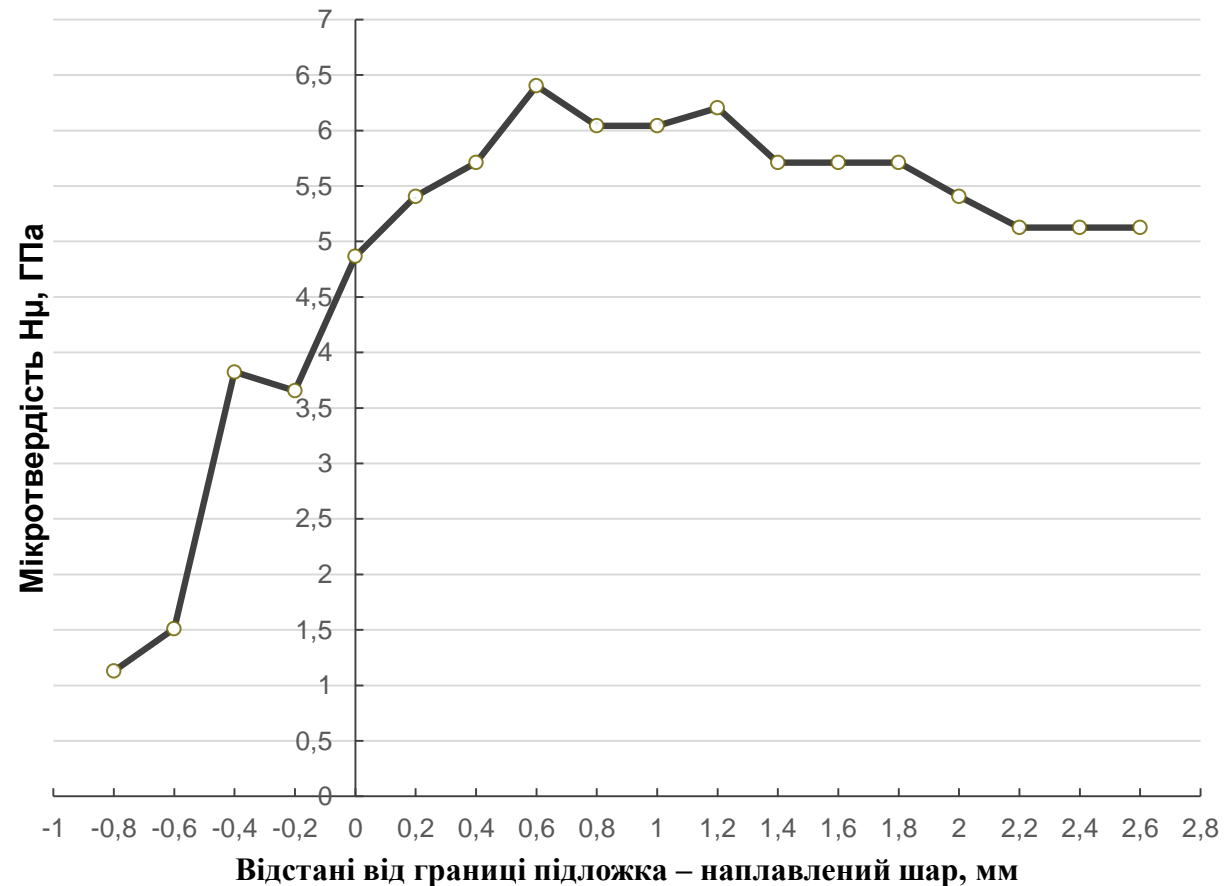



Верхній підшар наплавленого
високовуглецевого покриття



Розподіл мікротвердості у навколошовній зоні та наплавленому шарі

№	<i>m, g</i>	<i>P, H</i>	<i>α, рад</i>	<i>d, МКМ</i>	<i>H_μ, ГПа</i>
	50	0,4905	2,3737		
	відстань, мм	<i>d1, МКМ</i>	<i>d2, МКМ</i>		
1	-0,8	41	40	40,5	1,1285
2	-0,6	35	35	35	1,5106
3	-0,4	22	22	22	3,8234
4	-0,2	23	22	22,5	3,6554
5	0	20	19	19,5	4,8666
6	0,2	18	19	18,5	5,4070
7	0,4	18	18	18,0	5,7115
8	0,6	17	17	17,0	6,4032
9	0,8	17	18	17,5	6,0425
10	1	17	17	17,0	6,0432
11	1,2	17	18	17,5	6,2045
12	1,4	18	18	18,0	5,7115
13	1,6	18	18	18,0	5,7115
14	1,8	18	18	18,0	5,7115
15	2	18	19	18,5	5,4070
16	2,2	19	19	19,0	5,1261
17	2,4	19	19	19,0	5,1261
18	2,6	19	19	19,0	5,1261

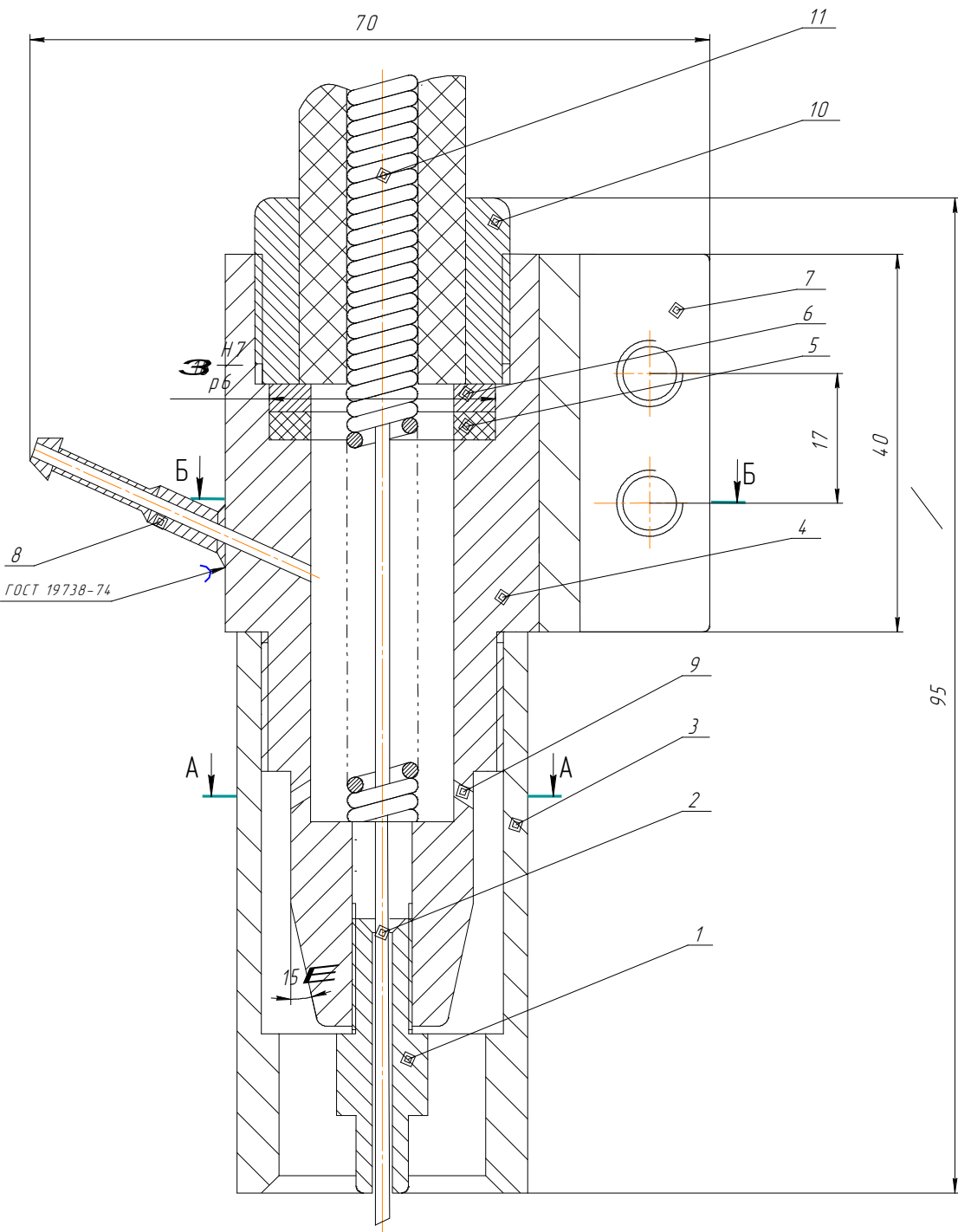




В результаті наплавлення зразків відбулося науглецювання поверхні зразка на глибину 0,2...0,4 мм, що підтверджують дюрOMETричні дослідження та утворення високовуглецевого наплавленого шару, що є результатом наступних явищ:

- в поверхневому шарі утворюється ледебуритна структура з максимальною твердістю. В структурі спостерігаються Перліт + Ледебуритний цементит + Ледебурит;
- в наступному шарі із-за неповного розчинення графітної фази (вуглецевої нитки) утворюється структура, в якій поряд з перлітом існує ледебуритний цементит, як результат твердість наплавленого шару дещо знижується;
- наступні шари – зона термічного впливу неоплавленого металу з не великою кількістю фериту.

Струмопровідний мундштук



Мундштук має корпус 4, контактний наконечник 1, сопло 3.

В середині корпусу мундштука є шість отворів 9 для проходження захисного газу, котрий подається через патрубок 8; втулку 6; гумову втулку 5; кріплення 7.

Розрахунок діаметра сопла

При витоку газу із сопла пальника не повинно бути макровихрів, тобто потік повинен бути ламінарним. Для цього повинна виконуватись умова:

$$R_e = \frac{v \cdot (D_c - d_n)}{\nu} < R_{e\text{кр}}$$

R_e – число Рейнольдса ;

D_c – внутрішній діаметр сопла, м ;

d_n - діаметр наконечника пальника, м;

ν - кінематична в'язкість газу CO_2 , $\text{м}^2/\text{с}$;


v – швидкість потоку м/с ;

$R_{e\text{кр}}$ – критичне значення коефіцієнта Рейнольда, якщо для даного потоку

$R_e < R_{e\text{кр}}$ – то потік ламінарний, в іншому випадку турбулентний.

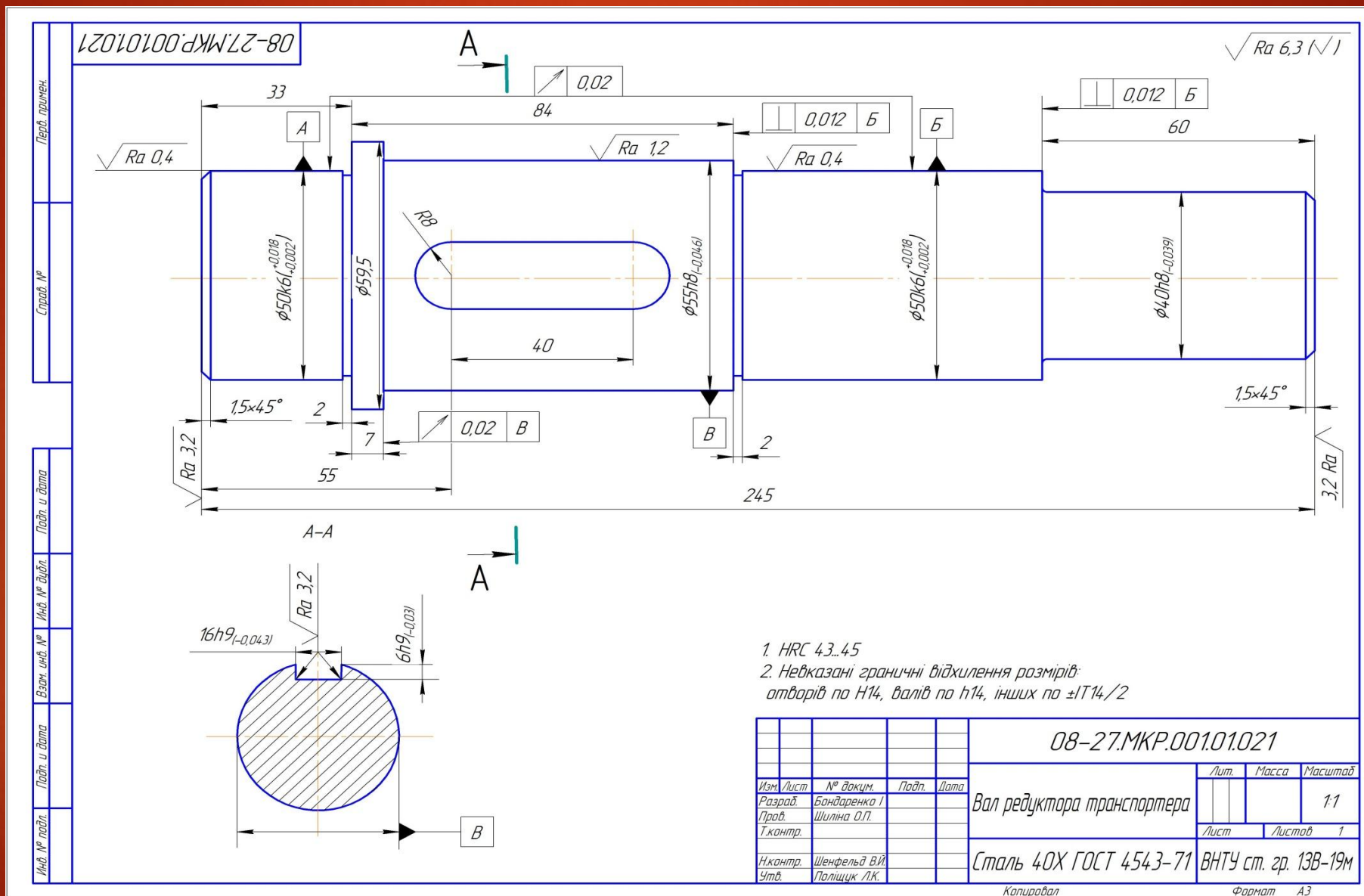
Розроблений мундштук для наплавлення в CO_2 :

- знижує втрати потужності та нагріву обладнання за рахунок відсутності шунтування зварного струму крізь елементи мундштука;
- стабілізує параметри зварних швів та понижує розбризкування металу із зварної ванни шляхом стабілізації струму, що подається на електрод в процесі наплавлення;
- створює ламінарний потік захисного газу при перепаді тиску в системі $0,7 \cdot 10^5$ Па.



Розробка та обґрунтування параметрів
технологічного процесу відновлення валу
циліндричного редуктора

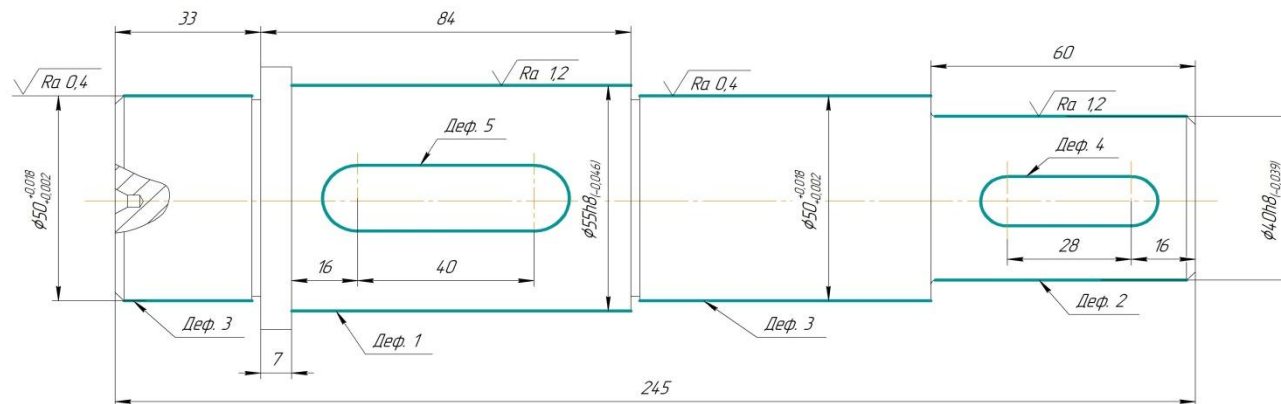
Робоче креслення



Ремонтне креслення

08-27.МКР.00101021 Р

$\sqrt{Ra\ 6,3\ \sqrt{1}}$



№ дефекту	Найменування дефекту	Коефіцієнт повторюваності дефекту від загальної к-сті деталей, що надходять на дефектацію	Коефіцієнт повторюваності дефекту від загальної кількості ремонтно-придатних деталей	Основний спосіб усунення дефекту	Допустимий спосіб усунення дефекту
1	Спрацювання посадочних поверхонь під колеса	0,3	0,27	Наплавлення в середовищі СО	Відродугове наплавлення
2	Спрацювання посадочної поверхні під зірочку	0,5	0,46	Наплавлення в середовищі СО	Відродугове наплавлення
3	Спрацювання опорної шийки під підшипник	0,95	0,9	Наплавлення в середовищі СО	Відродугове наплавлення
4	Спрацювання поверхонь шпонкового пазу	0,45	0,4	Заплавити паз, нарізати в новому місці	Фрезерувати під ремонтний розмір
5	Спрацювання поверхонь шпонкового пазу	0,35	0,3	Заплавити паз, нарізати в новому місці	Фрезерувати під ремонтний розмір

- НРС 4.3.45
- Невказані граничні відхилення розмірів отворів по Н14, валів по h14, інших по $\pm IT14/2$

Вал не приймається на відновлення в разі наявності сколів та тріщин

08-27.МКР.00101021 Р				Лист	Маса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вал редуктора транспортного (ремонтне креслення)	1:1
Разраб.	Бондаренко І					
Проб.	Шилна О.П.					
Т.контр.					Лист	Листов 1
Н.контр.	Щенфельд В.И.				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	ВНТУ ст. зр. 13В-19М
Чтб.	Паличук Л.К.				Копирвал	Формат А2

Технологічний маршрут відновлення

№ опер	Операційні переходи	Ескізи обробки	Моделі верстатів
005	Мийна		
010	Очисна 1. Встановити заготовку, закріпити, зняти заготовку. 2. Очистити поверхні 4, 5 піскаструменевою обробкою.		Станок піскаструменевою 5ПС-021
015	Дефектувальна 1. Виміряти поверхні 1,2,3,4,5 за ескізом		Штангенциркуль Ш11 0-200 Микрометр гладкий ММЗ-50 ГОСТ 65071-78
020	Наплавлення 1. Встановити заготовку, закріпити, зняти заготовку. 2. Заплавити поверхні 4, 5		Головка наплавлявальна У-651
025	Токарна 1. Встановити заготовку, закріпити, зняти заготовку. 2. Точити поверхні 1,2,3 до розмірів за ескізом. 3. Встановити заготовку, закріпити, зняти заготовку. 4. Точити поверхню 3 до розмірів за ескізом.		Токарно-гвинторізний верстат 16К20,
030	Наплавлення 1. Встановити заготовку, закріпити, зняти заготовку. 2. Наплавити поверхні 1,2,3 до розмірів за ескізом.		Головка наплавлявальна У-651

№ опер	Операційні переходи	Ескізи обробки	Моделі верстатів
035	Токарна 1. Встановити заготовку, закріпити, зняти заготовку. 2. Точити поверхні 1,2,3 до розмірів за ескізом. 3. Встановити заготовку, закріпити, зняти заготовку. 4. Точити поверхню 3 до розмірів за ескізом.		Токарно-гвинторізний верстат 16К20,
040	Фрезерна Фрезерувати шпандкові пази 4,5		Верстат фрезерний
045	Термічна Гартувати поверхні 1,2,3		Індуктор Праметр
050	Шліфувальна 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2. Шліфувати поверхні 1,2,3 попередньо до розмірів за ескізом. Шліфувальна 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. 2. Шліфувати поверхні 1,2,3 остаточно до розмірів за ескізом.		Круглошліфувальний верстат 3М15ІЕ,
055	Контрольна 1. Виміряти розміри та якість відновлених поверхонь		Штангенциркуль Ш11 0-200 Микрометр гладкий ММЗ-50 ГОСТ 65071-78

Вибір матеріалу для відновлення

Наплавлення валу циліндричного редуктора,
виготовленого зі сталі 40Х, використовуємо
наплавочний дріт Нп-20Х14 ГОСТ 10543-98

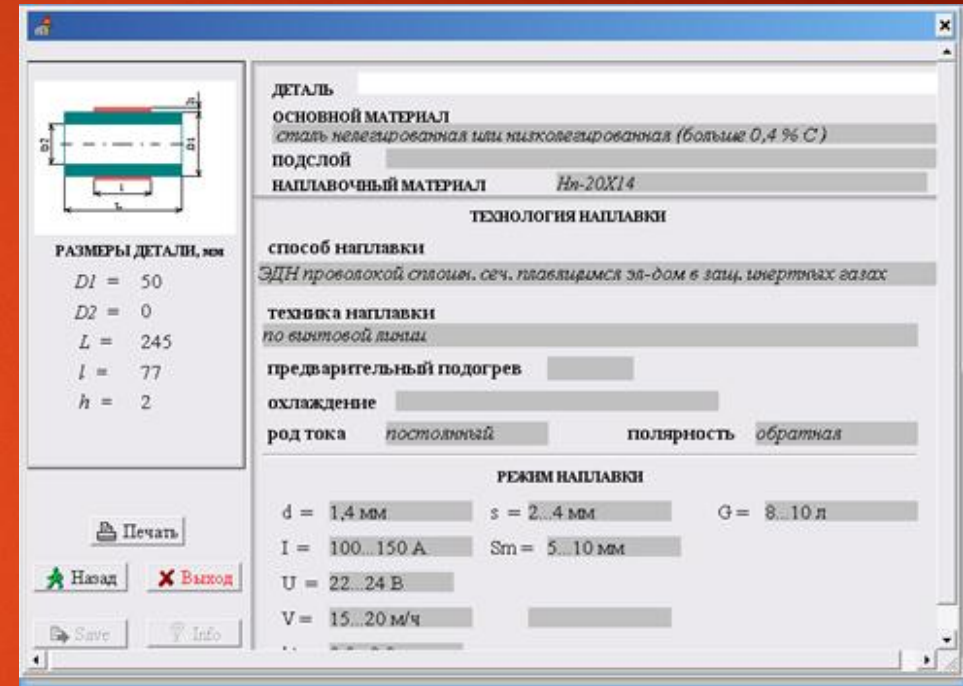
Марка дроту	С	Мn	Si	Cr
Нп-20Х14	0,16-0,25	0,8	0,8	13,0-15,0

Хром підвищує твердість наплавленого шару, а кремній і марганець запобігають процесу окислення заліза, вони вступають в реакцію з киснем та інтенсивно розкислюють розплавлений метал валика

Експертне визначення режимів наплавлення програмою «Наплавка»

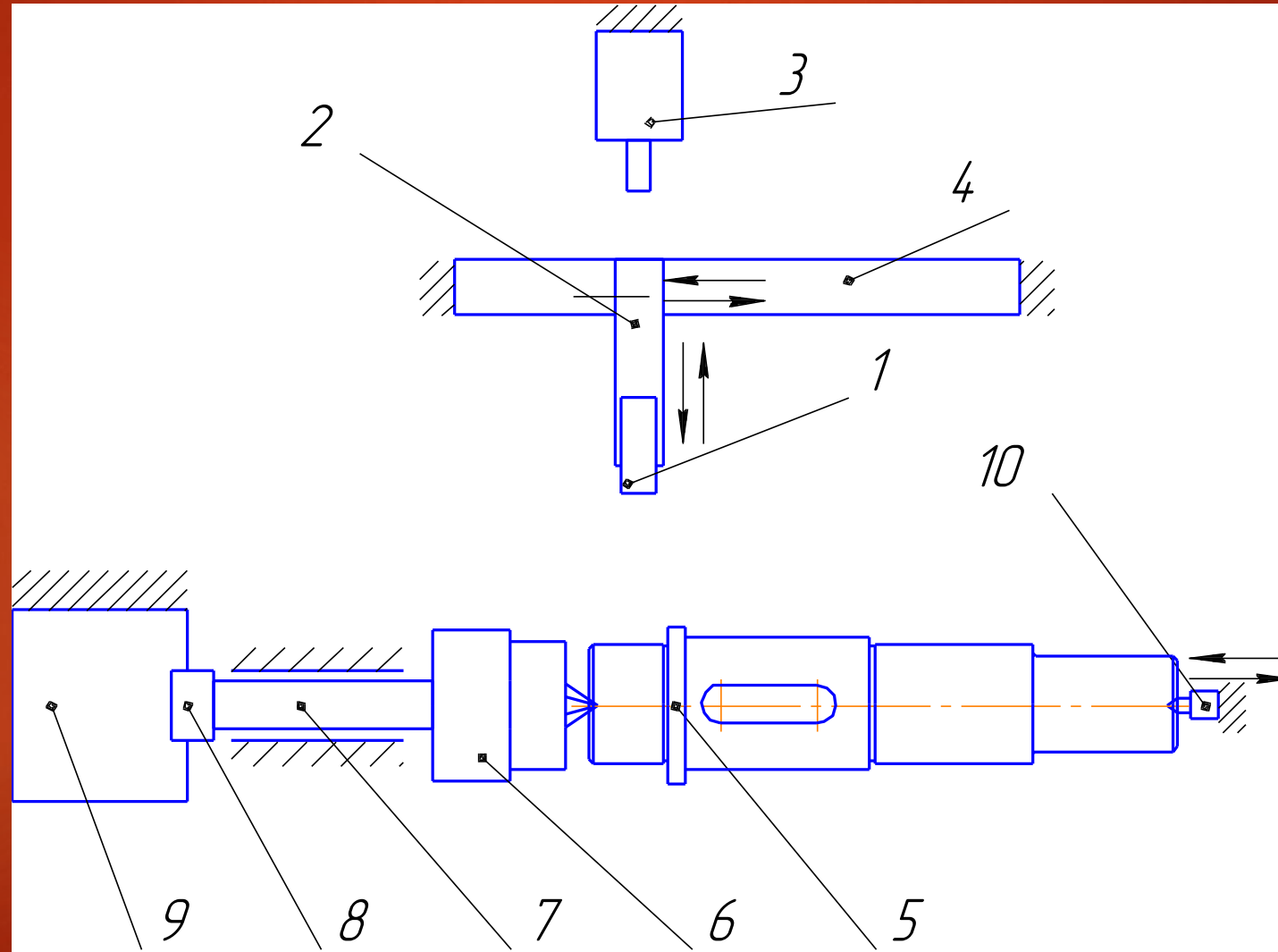


Вибір групи деталей і форми наплавляємої поверхні

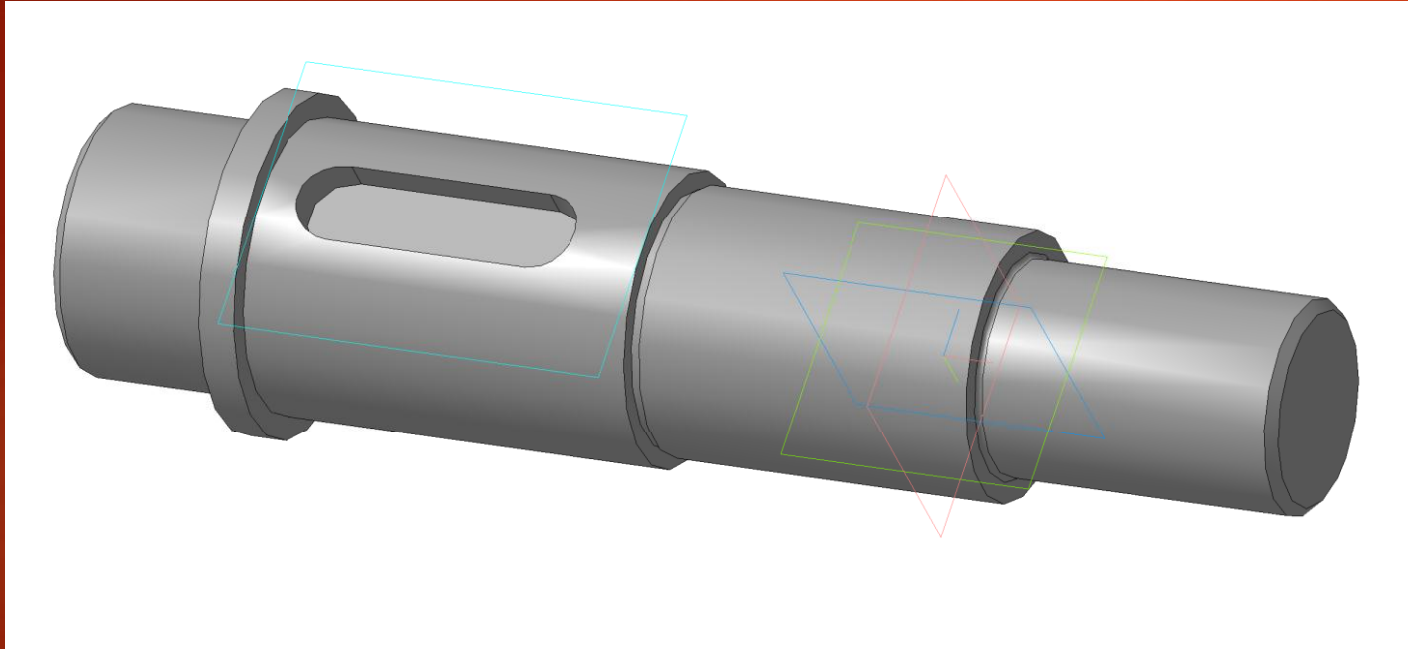


Рекомендовані режими наплавлення програмою «Наплавка»

Конструктивна схема установки відновлення



Визначення способу закріплення деталі



МЦХ

Деталь – вал циліндричного редуктора.

Задані параметри:

матеріал - Сталь 40Х ГОСТ 1050-88;

щільність матеріалу - $R_0 = 0.007820 \text{ г/мм}^3$;

Розрахункові параметри:

Маса - $M = 3626.357077 \text{ г}$.

Площа - $S = 45643.447374 \text{ мм}^2$.

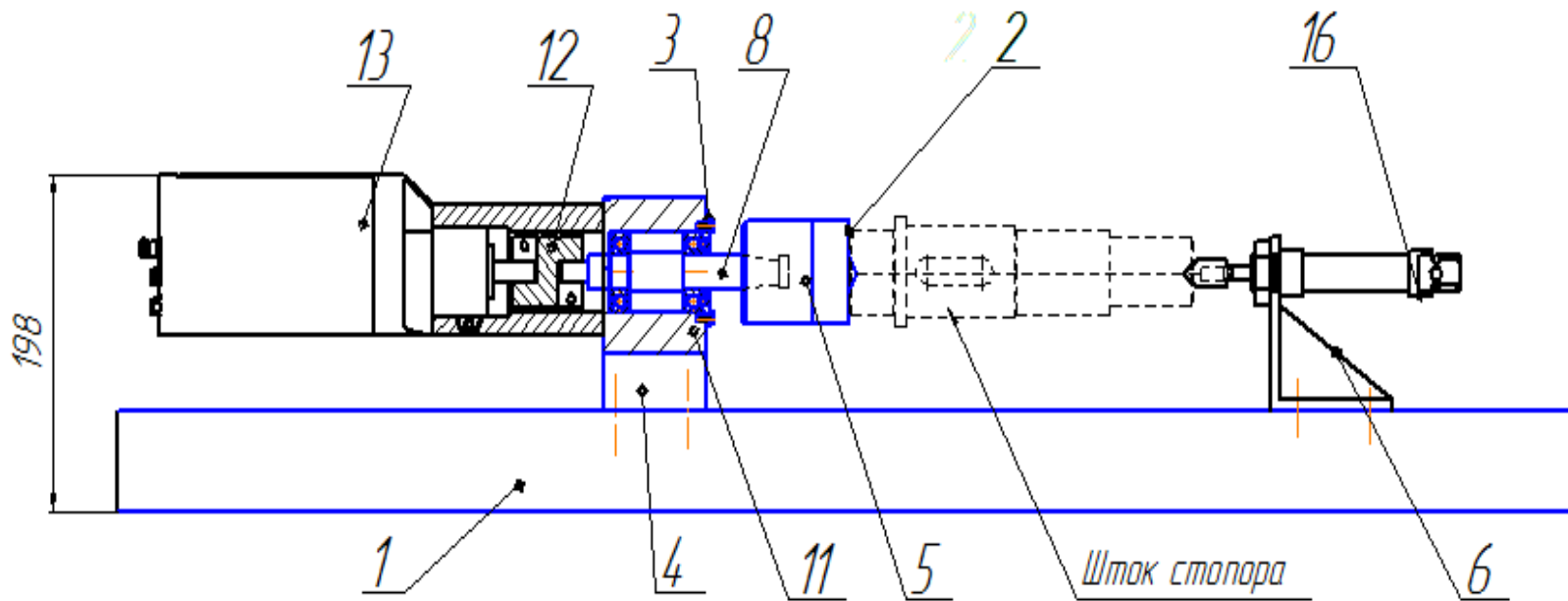
Об'єм - $V = 461137.548171 \text{ мм}^3$.

Центр мас – $X_c = -58.515593 \text{ мм}$.

$Y_c = 0.000000 \text{ мм}$.

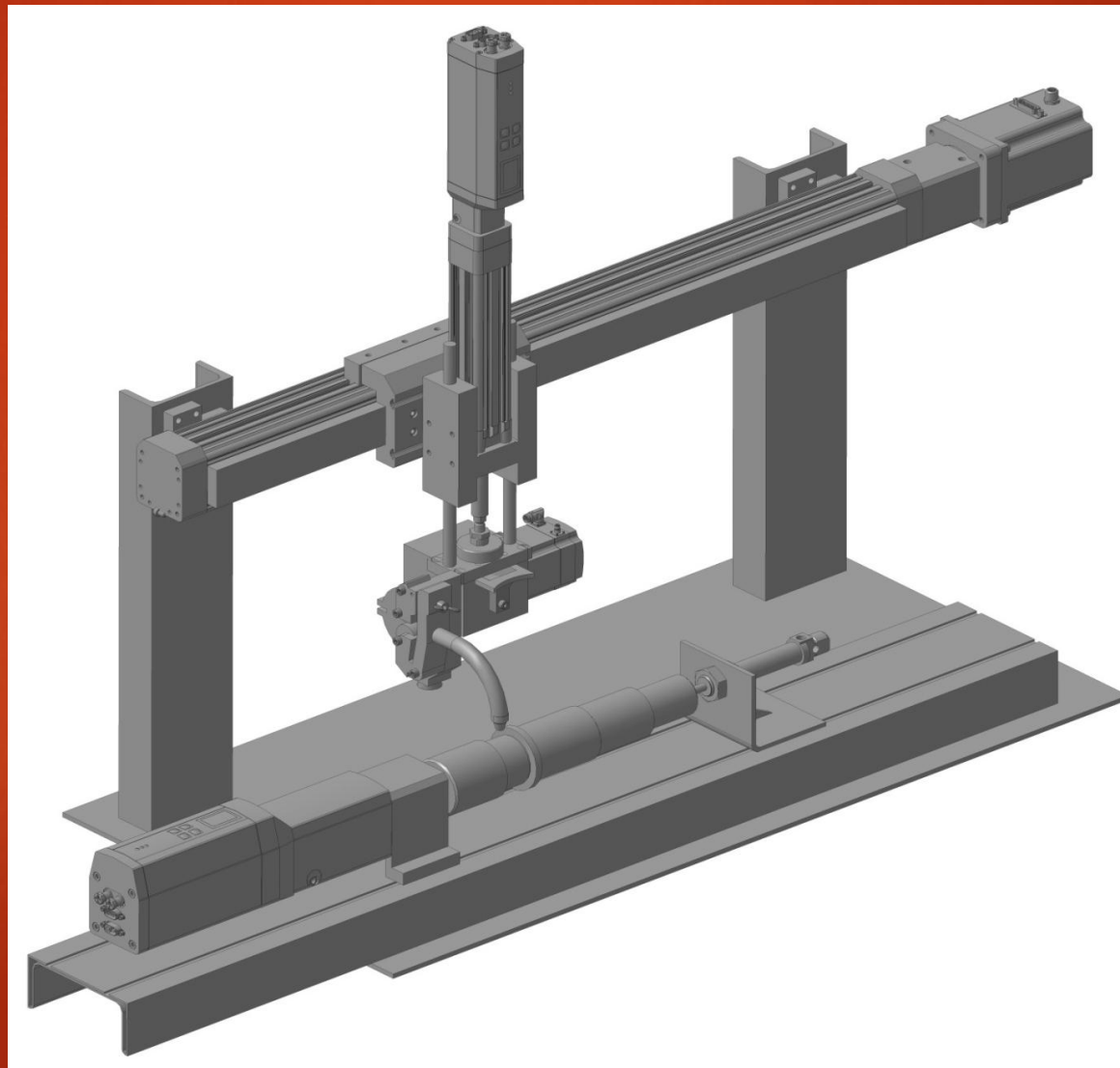
$Z_c = -0.045113 \text{ мм}$.

Обертач

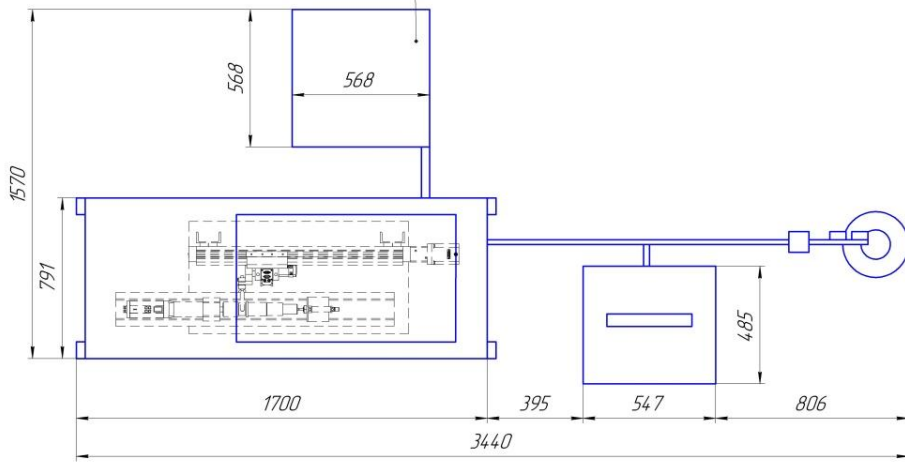
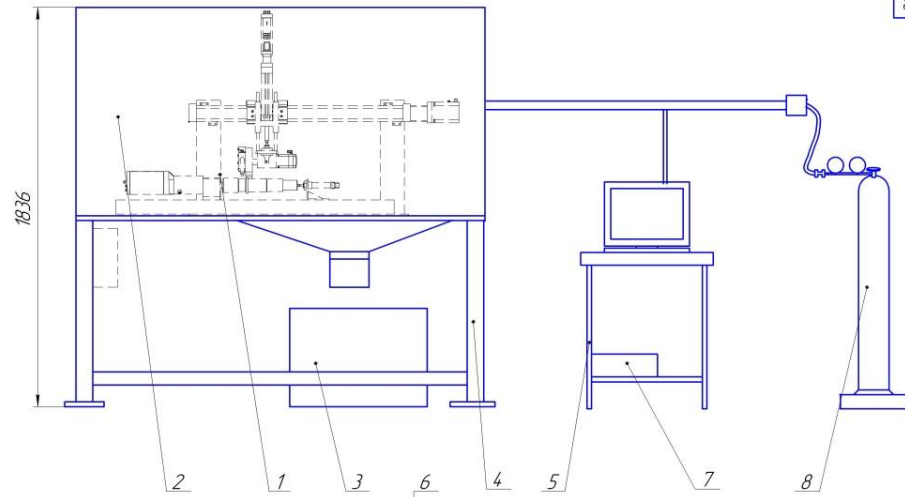


1- швелер, 2 – рифлений центр, 3 – кришка, 4 – корпус шпинделя, 5 – оправка-цент, 6 – кронштейн, 8 – вал шпинделя, 10-пневматичний циліндр з фіксатором штока, 11 - підшипник, 12 – муфта, 13- електродвигун.

3-D модель установка з числовим програмним керуванням



Лист № 0001
Лист № 0002
Лист № 0003
Лист № 0004
Лист № 0005
Лист № 0006
Лист № 0007
Лист № 0008
Лист № 0009
Лист № 0010
Лист № 0011
Лист № 0012
Лист № 0013
Лист № 0014
Лист № 0015
Лист № 0016
Лист № 0017
Лист № 0018
Лист № 0019
Лист № 0020
Лист № 0021
Лист № 0022
Лист № 0023
Лист № 0024
Лист № 0025
Лист № 0026
Лист № 0027
Лист № 0028
Лист № 0029
Лист № 0030
Лист № 0031
Лист № 0032
Лист № 0033
Лист № 0034
Лист № 0035
Лист № 0036
Лист № 0037
Лист № 0038
Лист № 0039
Лист № 0040
Лист № 0041
Лист № 0042
Лист № 0043
Лист № 0044
Лист № 0045
Лист № 0046
Лист № 0047
Лист № 0048
Лист № 0049
Лист № 0050
Лист № 0051
Лист № 0052
Лист № 0053
Лист № 0054
Лист № 0055
Лист № 0056
Лист № 0057
Лист № 0058
Лист № 0059
Лист № 0060
Лист № 0061
Лист № 0062
Лист № 0063
Лист № 0064
Лист № 0065
Лист № 0066
Лист № 0067
Лист № 0068
Лист № 0069
Лист № 0070
Лист № 0071
Лист № 0072
Лист № 0073
Лист № 0074
Лист № 0075
Лист № 0076
Лист № 0077
Лист № 0078
Лист № 0079
Лист № 0080
Лист № 0081
Лист № 0082
Лист № 0083
Лист № 0084
Лист № 0085
Лист № 0086
Лист № 0087
Лист № 0088
Лист № 0089
Лист № 0090
Лист № 0091
Лист № 0092
Лист № 0093
Лист № 0094
Лист № 0095
Лист № 0096
Лист № 0097
Лист № 0098
Лист № 0099
Лист № 0100



08-27.МКР.00102.000 В3

08-27.МКР.00102.000 В3				Лист	Масштаб
Мат. лист	№ документа	Лист	Виток		
Рисунки	Содержание	Лист	Виток		110
Лист	Шкала	Лист	Виток		
Таблицы		Лист	Виток		
Исполн.	Проверен	Лист	Виток		
Зам.	Получен	Лист	Виток		
Рабочее місце (Вид загальний)				Лист	Листов
ВНТУ, стр. 38-19М					
Копіювати				Формат	A2

Робоче місце у захисному боксі

Загальні висновки

- Для вибору раціонального способу за критерієм економічності проведено порівняння вартості декількох варіантів відновлення валу . При цьому перевага віддана варіантові з більш низьким значенням показника вартості. За показник вартості прийнято собівартість відновлення з урахуванням оптимальної товщини матеріалу, що наноситься та глибина дефектного шару.
- Дослідження проведені на зразках зі сталі 40Х показали, що при наплавленні їх електродним дротом Нп-30ХГСА діаметром 1,2 мм в середовищі CO_2 , з додаванням у зону сплавлення вуглецю у вигляді нитки марки УК-30 ТУ6-06-И78-85, відбулося науглецювання поверхні зразка на глибину 0,2...0,4 мм, що підтверджують дюраметричні дослідження. Відбулося утворення високовуглецевого наплавленого шару з утворенням ледебуритної структури максимальної твердості. Мікроструктурні дослідження виявили наступну структуру: Перліт + Ледебуритний цементит + Ледебурит.
- Розроблений мундштук для наплавлення в CO_2 :
 - знижує втрати потужності та нагрів обладнання, стабілізує параметри наплавлених валиків та понижує розбризування металу із зварної ванни;
 - створює ламінарний потік захисного газу при перепаді тиску в системі $0,7 \cdot 10^5$ Па.

Загальні висновки

- На основі проведення дефектування деталі розроблено технологічний процес відновлення зношених поверхонь валу;
- Проведені розрахунки режимів наплавлення аналітичним методом відповідають рекомендаціям експертної програми «Наплавка» та підтвердили вибір наплавлювального дроту і розрахунки, які забезпечують високу продуктивність відновлення і зменшують трудомісткість та витрати часу.
- Розроблена установка з числовим програмним керуванням на базі вузлів компанії «Festo», що дозволяє проводити відновлення поверхонь деталей типу вал.
- Отримані показники та термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ складе: 0,42 роки, що свідчать про високий рівень дохідності для інвестора і підтверджують доцільність впровадження технологічного процесу відновлення деталі «Вал циліндричного редуктора».

Дякую за увагу!