

Вінницький національний технічний університет

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**Вдосконалення технології та оснащення для забезпечення якості  
поверхонь колінчастих валів**

Виконав: студент 2 курсу, групи 1ГМ-20м  
спеціальності 133 – «Галузеве  
машинобудування».

(цифр і назва спеціальності)

Остроус Роман Русланович

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Шиліна О. П.

(прізвище та ініціали)

Опонент: к.т.н., доц., зав. каф. АТМ

Цимбал С.В.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри ГМ

д.т.н., проф. Поліщук Л.К.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань – Механічна інженерія

Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма – «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри ГМ  
д.т.н., професор Поліщук Л.К.

« 24 » вересня 2021 р.

### **З А В Д А Н Н Я** **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Остроусу Роману Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення технології та оснащення для забезпечення якості поверхонь колінчастих валів

керівник роботи Шиліна Олена Павлівна, к.т.н., доцент, каф. ГМ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 24 » вересня 2021 року № 277 .

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 10.12.2021 року .

3. Вихідні дані до роботи:

Креслення колінчастого валу

Режим роботи – довготривалий;

Річна програма відновлення деталей N=1000 шт.;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1. Сучасний стан наукової проблеми і шляхи її вирішення; Розділ 2. Дослідження направлені на підвищення довговічності відновлених робочих поверхонь; Розділ 3. Розробка та обґрунтування параметрів технологічного процесу відновлення колінчастого валу; Розділ 4. Економічна частина; Розділ 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях; Загальні висновки; Список використаних джерел; Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Робоче креслення деталі; 2. Ремонтне креслення деталі;

3. Установка з числовим програмним керуванням; 4. Обертач; 5. Робоче місце. 6. Технологічний процес відновлення.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Шиліна О.П., к.т.н., доц., кафедри ГМ	24.09.2021р.	3.12.2021р.
Економічна частина	Бальзан М.В., к.е.н., доц., кафедри ЕПВМ	24.09.2021р.	2.12.2021р.
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Віштак І.В., доцент кафедри БЖД та ПБ	24.09.2021р.	2.12.2021р.

7. Дата видачі завдання « 24 » вересня 2021 р.  
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	25.09.21 р.	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	26.10.2021 р.	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	30.10.21 р.	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	24.11.21 р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	25.11.21 р.	
6	Попередній захист МКР	14.12.21 р.	
7	Нормоконтроль МКР	17.12.21 р.	
8	Опонування МКР	17.12.2021 р.	
9	Захист МКР	20.12.2021 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Остроус Р.Р.

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

(підпис)

Шиліна О.П.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.791:681.5.015.23

Остроус Р. Р. Вдосконалення технології та оснащення для забезпечення якості поверхонь колінчастих валів. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 133 – галузеве машинобудування, освітня програма – галузеве машинобудування. Вінниця: ВНТУ, 2021. 105 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 48 назв; рис.: 37; табл. 28.

У магістерській кваліфікаційній роботі вдосконалено технологію відновлення колінчастого валу з використанням електродугового наплавлення. У науковій частині роботи визначено кількість графітового порошку у флюсі, який гарантує стабільну твердість наплавленого шару при експлуатації в умовах тертя та зношування. Досліджено вплив вуглецю на утворення структури при наплавленні деталі зварювальним дротом Св-08ГС та його вплив на твердість наплавленого шару.

У технологічній і розрахунково-конструкторській частині розроблений технологічний процес відновлення колінчастого валу «ЗИЛ-130» та виконана розробка устаткування з числовим програмним керуванням на базі вузлів Festo.

Економічні розрахунки показали комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження цієї розробки та виведення її на ринок

Графічна частина складається з 9 плакатів із результатами моделювання.

У розділі охорони праці та безпеки життєдіяльності опрацьовано технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці (обґрунтування вибору нормованих значень шкідливих та небезпечних виробничих факторів, оцінка факторів виробничого і трудового процесів, гігієнічна оцінка умов праці, оцінка технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця); рекомендації щодо поліпшення умов праці, розглянуто норми пожежної безпеки, а також дія іонізуючих випромінювань на людей.

Ключові слова: колінчастий вал, графітовий порошок, флюс, структура, мікротвердість, вузли Festo.

## ABSTRACT

Ostrous R.R. Improving technology and equipment to ensure the quality of crankshaft surfaces. Master's qualification work in the specialty 133 - branch mechanical engineering, educational program - branch mechanical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2021. 105 p.

In Ukrainian language. Bibliogr. : 48 titles; fig. : 37; table 28.

In the master's qualification work the technology of crankshaft restoration with the use of electric arc surfacing is improved. The scientific part of the work determines the amount of graphite powder in the flux, which guarantees a stable hardness of the deposited layer during operation under conditions of friction and wear. The influence of carbon on the formation of the structure during the surfacing of the part by the welding wire Sv-08GS and its influence on the hardness of the deposited layer was studied.

In the technological and calculation-design part the technological process of restoration of the crankshaft "ZIL-130" is developed and the development of the equipment with numerical program control on the basis of Festo knots is executed.

Economic calculations have shown the commercial attractiveness of scientific and technical development and may encourage potential investors to finance the implementation of this development and its introduction to the market

The graphic part consists of 9 posters with simulation results.

In the section of labor protection and life safety technical solutions on safe organization of workplaces, action on the human body and standardization of harmful and dangerous production factors in the production premises; map of working conditions (substantiation of the choice of normalized values of harmful and dangerous production factors, assessment of factors of production and labor processes, hygienic assessment of working conditions, assessment of technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, fire safety standards, as well as the effects of ionizing radiation on people.

Key words: crankshaft, graphite powder, flux, structure, microhardness, Festo nodes.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ І ШЛЯХИ ЇЇ ВИРШЕННЯ.	13
1.1 Способи відновлення колінчастих валів двигуна .....	13
1.2 Особливості легування вуглецем, структуроутворення та формування властивостей наплавлених шарів.....	16
1.3 Аналіз якості відновлених поверхонь колінчастого валу.....	16
1.4 Висновки. Постановка мети і наукових завдань досліджень .....	24
2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРАВЛЕНІ НА ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ .....	29
2.1 Методика, об'єкти і матеріали дослідження .....	31
2.2 Регресійна модель впливу факторів на твердість наплавленого шару.	
2.3 Аналіз утворення структури при наплавленні зразків з використанням графітового порошку.....	31
2.4 Комп'ютерний аналіз міцності устаткування для автоматизації процесу нанесення покриттів.....	36
2.5 Розрахунок сопла мундштук для наплавлення порошковим дротом ...	38
2.6 Розрахунок розмірів сопла мундштука для наплавлення в CO <sub>2</sub> .....	
2.7 Висновки до другого розділу.....	39
3 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ .....	40
3.1 Аналіз службового призначення двигуна автомобіля «ЗІЛ-130».....	44
3.2 Конструкторсько-технологічна характеристика колінчастого валу .....	46
3.3 Дефектування колінчастого валу.....	49
3.4 Визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь колінчастого валу.....	52
3.5 Формування маршруту технологічного процесу відновлення колінчастого валу .....	60
3.6 Розрахунок та призначення режимів відновлення поверхонь валу	
3.7 Нормування операцій технологічного процесу .....	61
3.8 Створення конструктивної схеми верстата та її опис.....	61
3.9 Розрахунок масоцентрувальних характеристик (МЦХ) деталі .....	66
3.10 Розрахунок та вибір виконавчих механізмів установки для автоматизованого відновлення деталей.....	66
3.11 Розрахунок маси наплавлювальної головки.....	68

	7
3.12 Розробка установки з числовим програмним керуванням.....	
3.13 Розробка робочого місця.....	72
3.14 Висновки до третього розділу.....	
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	73
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	73
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	74
4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором.....	
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта.....	
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	
5.3 Пожежна безпека.....	80
5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	80
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
ДОДАТКИ.....	85
ДОДАТОК А – Технічне завдання.....	89
ДОДАТОК Б – Мршрутні карти.....	90
ДОДАТОК В – Креслення.....	97

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** Довготривалість експлуатації будь-якого виду транспорту залежить від надійності двигуна. На його надійність та довговічність впливає у значній мірі правильність вибору матеріалів складових деталей та технології їх оброблення. Причому, матеріали повинні бути доступні, недорогими, технологічними, а витрати на обробку мінімальні. Важливе значення має стан та якість поверхонь деталей, які визначають строк служби виробу. Один з найбільш небезпечних та швидкоплинних процесів, що призводить до відказу двигуна – втомне зношування. Зносостійкість відноситься до категорії поверхневих властивостей матеріалів виробів і тріщини втомлення при циклічному навантаженні колінчастих валів зароджуються, як правило, в цих поверхневих шарах.

На першому етапі ремонт передбачає перешліфовування на ремонтні розміри та використання спеціальних вкладишів. [13]. Але при значному зношуванні шийок вали піддають вже відновленню до номінальних розмірів. В наш час відновлюється до 65...75% зношених колінчастих валів. Найбільш доступними та техніко-економічно виправданими є способи відновлення колінчастих валів з використанням легуючих матеріалів.

Найбільш раціональними являються способи з мінімальними затратами на відновлення з врахуванням довговічності, міцності, фазового складу поверхневих шарів та інших показників, що характеризують строк служби деталі в порівнянні з новою [22, 36].

Оптимізація структури та фазового складу відновлених шарів робочих поверхонь деталей в наш час є актуальною проблемою.

**Мета роботи** полягає у створенні композиційних покриттів шляхом введення вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу, в зону сплавлення з основним металом та керування твердістю і стабільністю структури.

Науково-технічною задачею, яка вирішується в даній роботі, є визначення кількісного складу графітового порошку у флюсі при електродуговому наплавленні з метою отримання стабільної структури та рівномірною твердістю.

### **Задачі дослідження:**

1. Визначення кількості графітового порошку у флюсі, який гарантує стабільну твердість наплавленого шару при експлуатації в умовах тертя та зношування.



2. Дослідити вплив вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу, на утворення структури при наплавленні деталі зварювальним дротом Св-08ГС та його вплив на твердість наплавленого шару.

3. За методом причинно-наслідкової діаграми, (діаграми Ісікави) визначити основні фактори, що впливають на якість відновлених деталей.

4. Спроекувати мундштук для наплавлення в  $\text{CO}_2$  з метою стабілізації та створення ламінарного потоку захисного газу.

5. Розробити технологічний процес відновлення колінчастого валу з використанням електродугового наплавлення, який забезпечить відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь.

6. Спроекувати устаткування з числовим програмним керуванням на базі вузлів Festo.

**Об'єкт дослідження** – процеси, що супроводжують утворення структури поверхневих шарів під впливом вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу, при наплавленні.

**Предмет дослідження** – закономірності утворення структури поверхневих шарів під впливом вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу, при наплавленні.

#### **Методи дослідження.**

Експериментальні дослідження виконані на вимірювальних і моделюючих установках у лабораторних умовах кафедри ГМ. Мікроструктурні дослідження проведені за допомогою мікроскопа МІМ-8 з камерою для фотографування та подальшого їх аналізу для визначення глибини, товщини та оцінки параметрів структури утвореного покриття; дюрOMETричні дослідження для визначення твердості. Математичне оброблення результатів дослідження виконувалось з використанням існуючого прикладного програмного забезпечення.

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

1. Отримали продовження дослідження впливу вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу, на утворення мікроструктури при наплавленні деталі наплавлювальним дротом Св-08ГС, його впливу на мікротвердість наплавленого шару та твердість поверхневих шарів;

2. Обґрунтована оцінка кількості графітового порошку у флюсі, який гарантує твердість наплавленого шару при експлуатації в умовах тертя та зношування;

3. Вперше методом планування багатофакторного експерименту отримано адекватну регресійну модель твердості поверхневих шарів.

**Практичне значення отриманих результатів:**

1. Спроектовано мундштук для наплавлення в CO<sub>2</sub> з метою стабілізації та створення ламінарного потоку захисного газу при наплавленні.

2. Розроблені технологічного процесу відновлення з використанням електродугового наплавлення порошковим дротом, який забезпечить відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь колінчастого валу.

3. Розроблено установку з числовим програмним керуванням на базі вузлів компанії «Festo», що дозволяє проводити відновлення поверхонь деталі колінчастий вал.

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

**Особистий внесок здобувача.** В даній роботі використано результати досліджень, які одержано автором самостійно. Мета і задачі роботи, обговорення результатів досліджень виконані спільно з керівником.

**Апробація результатів наукової роботи.**

Основні положення та результати наукової роботи доповідалися й обговорювалися на Науково-технічних конференціях факультету машинобудування та транспорту 2017, 2018 та 2020 років.

**Публікації.**

1. Бакалець Д.В. Дослідження впливу легування вуглецем під час наплавлення колінчастого валу [Електронний ресурс] / Д.В. Бакалець, Р.Р. Остроус // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 21 березня 2020 р. - Електрон. текст. дані. - 2020. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/9736/8216>.

2. Поступайло О.В. Дослідження механічних властивостей зварного з'єднання утвореного послідовно змінним хімічним складом електродного матеріалу [Електронний ресурс] / О.В. Поступайло, Р.Р. Остроус // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22 березня 2017 р. - Електрон. текст. дані. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/3220/2550>.

3. Буда А.Г. Особливості застосування програмного продукту інвентор в машинобудівних кресленнях [Електронний ресурс] / А.Г. Буда, Р.Р. Остроус // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 15 березня 2018 р. - Електрон. текст. дані. - 2018. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2018/paper/view/4380/3888>.

4.

## 1 СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ І ШЛЯХИ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

### 1.1 Способи відновлення колінчастих валів двигуна

Колінчасті вали є складними за конструкцією, важконавантажені та дорогі деталі. Колінчасті вали працюють в умовах знакозмінних навантажень. Основними причинами вибраковування колінчастих валів є абразивне зношування шийок та втомні поломки в області галтелей, а саме у пригалтельних зонах шийок. В процесі експлуатації абразивний знос шийок та вкладишів призводить до не співвісності опор, що в свою чергу прискорює абразивне стирання і різко (на 25...30%) знижує опір втомленості валів. [13].

Зношені вали з корінними та шатунними шийками, перешліфовані на усі ремонтні розміри, але придатні для відновлення шляхом нанесення покриттів до номінальних розмірів, складають 65 – 75%. [35]. На ряді сучасних ремонтних підприємствах для відновлення колінчастих валів тракторних двигунів використовують головним чином різновиди дугового способу наплавлення під шаром флюсу, які можна розділити на дві групи: 1) наплавка проволокою Нп-30ХГСА під шаром флюсу АН-348А з використанням різних варіантів термообробки (відпуск, гартування, відпал та нормалізація), 2) способи, які передбачають в якості легуючого матеріалу використання стандартного флюсу АН-348А, до якого додають легуючі елементи у вигляді ферохрому, ферованадію, алюмінію та інш.

Перші способи забезпечують опір втомленості порядку 80–84% від рівня нових за рахунок введення в технологічний процес відновлення термічних операцій, які сприяють зняттю внутрішніх напружень. Створенню в поверхневих шарах стискаючих напружень, поліпшенню механічних властивостей наплавленого металу та зони термічного впливу. Недоліком таких способів є їх висока трудомісткість та необхідність використання дефіцитного екзотермічного обладнання. Їх доцільно використовувати у крупносерійному виробництві.

Найбільш доступними та техніко-економічно виправданими є способи відновлення колінчастих валів, наплавлених легуючими матеріалами, які дозволяють отримувати високу зносостійкість без використання термічної обробки, але мають низький опір втомленості (55–75%). Ці способи успішно використовують для відновлення колінчастих валів карбюраторних

автомобільних двигунів і міцність, що отримують, задовольняє вимогам їх надійної експлуатації протягом строку служби нових валів. В той же час для колінчастих валів тракторних двигунів, які мають більшу поверхню та працюють в більш навантажених умовах, ця група способів із-за низького опору втомленості не дала позитивних результатів.

При наплавленні легувальними матеріалами без використання термообробки на галтелях між шийками та щоками утворюється зона сплавлення, яка є малопластичною, а в зоні термічного впливу із-за різкої структурної неоднорідності (на шийках утворюється мартенсит з HRC 69, на щоках – перліт HB 170) виникають тріщини, мікротріщини, підсилюється концентрація напружень, знижується опір втомленості. При цьому із-за значного термічного впливу (глибина проплавлення  $\sim 2$  мм) відбувається деформація валу. Таким чином, не дивлячись на те, що в наплавленому шарі утворюється структура мартенситу і напруження стиску, низька пластичність у зоні сплавлення є основною причиною зниження опору втомленості.

Необґрунтовано покладаються великі надії на відновлення колінчастих валів способами напилювання, у тому числі і плазмовим напилюванням самофлюсівними порошками. Спроба відновлення колінчастих валів плазмовим наплавленням порошковими сплавами малогабаритним плазмотроном з поперечними коливаннями на ширину усієї шийки вала без заплавлення галтелей не дало позитивних результатів із-за значного зниження опору втомленості. (до 45%).

Довготривалість колінчастих валів визначається опором втомленості та зносостійкістю. Опір поверхонь шийок колінчастого валу абразивному зношуванню в значній степені визначається їх твердістю. Тому для наплавлення використовують матеріали, в структурі яких присутні достатньо тверді, темодинамічно стійкі складові, наприклад на основі карбідів. Таким чином, при вирішенні проблеми підвищення довговічності колінчастих валів воліють отримати підвищення опору втомлення, а у поверхневому шарі – зменшити перехід вуглецю з основного металу у наплавляємий, не допустити утворення крихких кристалізаційних тріщин, тобто забезпечити надійні властивості у зоні сплавлення. Тому перевагу віддають наплавленому металу зі структурою перліт + ледебурит (цементит). Така структура володіє підвищеною зносостійкістю, так як відповідає правилу, встановленому Шарпі відносно фрикційних сплавів. Згідно цього правила для забезпечення високої зносостійкості структура повинна складатися з твердої зносостійкої складової,

що розташовується у вигляді ізольованих включень, в більш м'якій, але достатньо в'язкій основі. [36].

## **1.2 Особливості легування вуглецем, структуроутворення та формування властивостей наплавлених шарів**

При наплавленні у більшості випадків застосовують відомі способи зварювання. Спеціальні властивості наплавленого металу забезпечуються за рахунок легування, тобто введення в його склад відповідних елементів у потрібній кількості [13].

Найбільш розповсюдженим є легування наплавленого металу за рахунок введення в зону дуги (зварювальну ванну) металів, сплавів і металоподібних сполук у вигляді різних карбідів і інтерметалідів.

Можливості характерних методів легування показано на прикладі електродугового наплавлення під флюсом (рис. 1.1).

Легування здійснюється за рахунок:

- 1) застосування легованого дроту або стрічки (у тому числі і спеченої стрічки) в поєднанні з плавленим флюсом;
- 2) введення легуючих домішок через дріт або стрічку, використовуючи конструкцію наплавочного матеріалу (порошкові дроти і стрічки), активований дріт, дріт з армованим легуючим покриттям та ін.) у поєднанні з плавленим флюсом;
- 3) застосування легуючого флюсу (керамічний флюс, механічна суміш феросплавів у поєднанні з низьковуглецевим дротом або стрічкою);
- 4) введення легуючих компонентів з нерухомої (фіксованої) присадки у вигляді спеціальних прутків, стрічок, порошоків або паст шляхом їх розплавлення низьковуглецевим електродом під плавленим флюсом.

На практиці жодний з цих методів не зустрічається ізольовано, як правило, це комбінація декількох методів: електродний матеріал завжди взаємодіє зі шлаком шляхом обмінних реакцій, що обумовлює частковий перехід кремнію і марганцю з плавненого флюсу у ванну за рахунок їх відновлення з окислів, флюсу.

Характер і величина зміни залежить від електродного металу і флюсу. Можливість отримання необхідного складу визначається необхідною концентрацією елементів і мірою засвоєння цих елементів металом на стадії краплі і ванни.

При всіх вказаних методах легування зміна параметрів процесу наплавлення впливає на рівень легування наплавленого металу. Характер і величина зміни рівня легування залежать, передусім, від основного джерела надходження легуючих елементів у ванну – з електродного матеріалу чи флюсу.

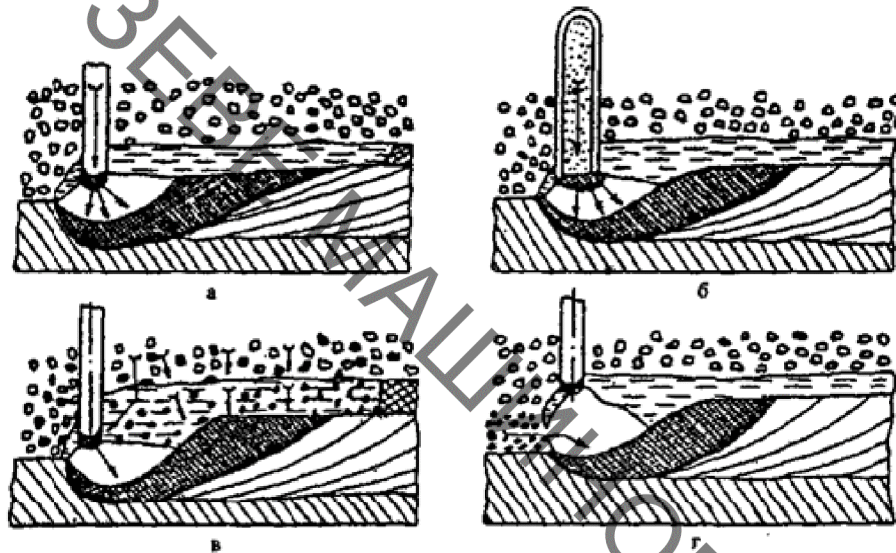
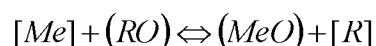


Рисунок 1.1 – Основні методи легування при наплавленні під флюсом: *а* – легований дріт і нелегуючий флюс; *б* – порошковий дріт і нелегуючий флюс; *в* – нелегований дріт і легуючий флюс; *г* – нелегований дріт, флюс і легувальна присадка у вигляді порошку, прутка чи пасти на поверхні виробу (стрілками вказано надходження легуючих елементів у ванну)

У разі застосування легувального флюсу частина домішок може вноситись електродним матеріалом. При введенні легувальних компонентів з нерухомої присадки на хімічний склад наплавленого металу впливають і флюс, і електродний матеріал. Можливість отримання необхідного складу визначається вихідною концентрацією елементів і ступенем засвоєння цих елементів металом на стадіях краплі і ванни.

Втрати легуючих елементів електрода спричинені випаровуванням у реакційній зоні і розвитком окислювальних реакцій між металом і шлаком:



Ступінь окислення залежить від спорідненості металу до кисню, концентрації окиснювача, наявності розкислювачів, кінетики реакцій, умов контактування взаємодіючих фаз та інших факторів. Висока температура і

значне перемішування сприяють енергійній взаємодії металу в краплях і у ванні. Однак при механізованому наплавленні під флюсом значна частина розплавленого шлаку, не контактуючи з краплями, стікає у ванну, час існування якої сягає 30...40 с і більше. Це не може не впливати на ступінь завершеності реакцій на кожній із стадій.

Зменшення струму й збільшення напруги дуги підсилюють взаємодію шлаків та металу. Щоб одержати заданий склад металу, потрібно вибрати елементи режиму наплавлення, виходячи зі складу наявного електродного матеріалу. Оскільки всі фактори, що впливають на кінцевий склад наплавленого металу, не можуть бути враховані розрахунком, доцільно контролювати цей склад хімічним аналізом стружки, узятій при механічній обробці наплавлених деталей і при необхідності коректувати режим наплавлення.

В літературі є велика кількість публікацій, які розглядають наплавлення зношених поверхонь різними способами, зокрема з використанням високолегованих або порошкових дротів. Однак останнім часом інтенсивно ведуться дослідження можливості легування наплавленого металу шляхом введення вуглецю у формі порошку, нитки, полотна і ін. Такий підхід дозволяє отримати зносостійкі покриття без використання дороговартісних наплавочних матеріалів [7, 25, 38]. Вибір методу нанесення покриття у конкретному випадку носить неоднозначний характер. Він лежить у площині вибору серед кількох альтернативних методів, які забезпечують приблизно однакові якісні характеристики покриття та мають близькі економічні показники.

Тому часто виникають додаткові суб'єктивні параметри, за якими обирається метод: особисті уподобання, наявність необхідного обладнання, доступність матеріалів, що використовуються у процесі, та ін.

### **1.3 Аналіз якості відновлених поверхонь колінчастого валу**

Від якості поверхневого шару залежать експлуатаційні властивості – опір втомному руйнуванню, зносостійкість, корозійна стійкість тощо. Зв'язок характеристик якості поверхневого шару з експлуатаційними властивостями деталей свідчить про те, що оптимальна поверхня повинна бути доволі твердою, мати залишкові напруження стиску, дрібнодисперсну структуру, згладжену форму мікронерівностей з великою площею опорної поверхні.



Сучасні технології забезпечують не тільки високу точність, продуктивність, технологічність, але й необхідну довговічність деталей машин в експлуатації.

Опираючись на схему механізму забезпечення якості продукції, наведену у роботі [31], можливо проаналізувати та визначити усі фактори, які впливають на якість абразивної зносостійкості осей та валів засобів транспорту.

Для вирішення проблем, що стосуються якості продукції, широко застосовують такі методи, як причинно-наслідкова діаграма.

Розглянемо причинно-наслідкову діаграму (діаграма “риб’ячих кісток” або діаграма Ісікави).

Причинно - наслідкова діаграма (рис. 1.2) застосовується тоді, коли потрібно дослідити і визначити всі можливі причини визначених проблем та умов якості валів транспортної техніки. Ця діаграма добре показує співвідношення між наслідком, результатом і різними причинами, що впливають на них.

Наслідок, результат чи проблема позначаються на правій стороні діаграми, а головні дії або “причини” перелічуються на лівій стороні.

Така діаграма надає можливість виявити ключові взаємозв'язки між різними факторами та більш достеменно зрозуміти досліджуваний процес. Діаграма сприяє визначенню головних чинників, які спричиняють найзначніший внесок до проблеми, що розглядається, та попередженню або усуненню їх дії [31].

Побудована діаграма включає такі етапи:

- вибір результативного показника, що характеризує якість виробу (процесу і т.д);
- вибір головних причин, що впливає на показник якості. Їх необхідно помістити в прямокутники (“великі кістки”);
- вибір вторинних причин (“середні кістки”), що впливають на головні;
- вибір (опис) причин третинного порядку (“дрібні кістки”), що впливають на вторинні;
- ранжирування факторів за їх значимістю і виділення найбільш важливих.

Головним чином на якість валів засобів транспорту впливає:

- Режим роботи, на нього впливають: культура виробництва (правильність ремонтних робіт, наявність мащення вузлів, що потребують

цього, проведення періодичного технічного огляду), безперервність роботи (виникнення неполадок, поломок), наявність пускових навантажень (пускові навантаження більші допустимих, пускові навантаження менші допустимих).

– Твердість поверхонь, має такі вторинні чинники: матеріал основи (термічна обробка, структура), формування поверхневих шарів (покриття, термічна обробка, термо-механічна обробка, деформаційне зміцнення, дифузійне насичення).

– Матеріали, на матеріали впливають: матеріал деталі (легований, звичайної якості, структурний стан, структурні складові, домішки), наявність покриття (метод нанесення покриття, товщина покриття, твердість покриття, пористість покриття, структура покриття, перехідна зона), термічна обробка (додаткові компоненти, режими термічної обробки, вид термічної обробка).

– Середовище, у свою чергу на нього впливають: наявність мащення (наявність системи фільтрації абразиву, використання спеціальних мастил, мащення рідким мастилом, мащення густим мастилом типу солідол), склад абразиву, твердість абразиву, значення температури, наявність вентиляції, наявність вібрації, захист від абразиву (застосування фільтрації повітря, застосування спеціальних кожухів).

Згідно побудованої діаграми Ісікави відносно якості валів засобів транспорту можна стверджувати, що основним фактором впливу є середовище у якому пряцює колінчастий вал та якість відновлених поверхонь тертя. Поверхневі шари, що труться, повинні мати відповідну твердість, структуру та абразивну зносостійкість. Забезпечення якісного поверхневого шару може забезпечити такий метод відновлення як наплавлення порошковим дротом.



#### 1.4 Висновки. Постановка мети і наукових завдань досліджень

Як показав літературний огляд, основними методами введення порошків у зміцнюваний шар є метод легування через флюс, а також використання порошкового дроту. Цікаво було б порівняти результати різних методів введення порошкового вуглецю та їх дію на структуру та властивості відновлюваних деталей.

**Мета роботи** полягає у створенні композиційних покриттів шляхом введення вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу, в зону сплавлення з основним металом та керування твердістю і стабільністю структури.

Науково-технічною задачею, яка вирішується в даній роботі, є визначення кількісного складу графітового порошку у флюсі при електродуговому наплавленні з метою отримання стабільної структури та рівномірною твердістю.

##### **Задачі дослідження:**

1. Визначення кількості графітового порошку у флюсі, який гарантує стабільну твердість наплавленого шару при експлуатації в умовах тертя та зношування.
2. Дослідити вплив вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу, на утворення структури при наплавленні деталі зварювальним дротом Св-08ГС та його вплив на твердість наплавленого шару.
3. За методом причинно-наслідкової діаграми, (діаграми Ісікави) визначити основні фактори, що впливають на якість відновлених деталей.
4. Спроекувати мундштук для наплавлення в  $\text{CO}_2$  з метою стабілізації та створення ламінарного потоку захисного газу.
5. Розробити технологічний процес відновлення колінчастого валу з використанням електродугового наплавлення, який забезпече відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь.
6. Спроекувати устаткування з числовим програмним керуванням на базі вузлів Festo.

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРАВЛЕНІ НА ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ

### 2.1 Методика, об'єкти і матеріали дослідження

Об'єктом дослідження обрано поверхневі шари, які утворюються на поверхні зразків зі сталі 45 під впливом графітового порошку.

Обробка здійснювалась на вдосконаленій установці УД-209М. Наплавлення виконували на постійному струмі, полярність – зворотна (плюс – електрод, мінус – деталь), наплавочним дротом звичайної якості марки Св-08ГС, флюс АН 348 ГОСТ 9087-69 з додаванням графітового порошку ЭУЗ-Э ГОСТ 5279-74. Графіт ЭУЗ-Э – темно-сірий кристалічний порошок, має слабкий металевий блиск, використовується у виробництві вугільних електродів.

При наплавденні зразків рівномірно подавали флюс з додаванням графітового порошку та забезпечували обертання деталі і поступальне переміщення наплавлювальної головки. Кількість графітового порошку, що вводили до флюсу змінювали від 0 до 50%.

Дослідження зміни структури та фазового складу поверхневих шарів після наплавлення [7, 14, 38], оцінювали за допомогою оптичного мікроскопу МИМ-8 за стандартними методиками. Труїння шліфів проводили розчином хлористого заліза ( $\text{FeCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$ ) та ніталем.

ДюрOMETричні випробування проводились на приладі ПМТ-3 методом вдавлення алмазної пірамідки під навантаженням від 0.5 до 2 Н. Як інструмент для вдавлення використовувалась алмазна пірамідка з квадратною основою та кутом при вершині між протилежними гранями  $136^\circ$ .



Рисунок 2.1 – Мікротвердомір ПМТ-3

## 2.2 Регресійна модель впливу факторів на твердість наплавленого шару

Побудуємо регресійну модель твердості наплавленого шару на основі планування багатофакторного експерименту [8]. Цільова функція – твердість, Нц. В таблиці 2.1 наведені фактори та їх значення, а в табл. 2.2 – результати експериментів.

Таблиця 2.1 – Фактори та їх значення

Фактори	Рівні факторів			Інтервал
	-1	0	+1	
Вплив струму на структуру I <sub>1</sub> - X <sub>1</sub>	110	120	130	10
Відсоткова кількість графітового порошку у складі флюсу X <sub>2</sub> , у %.	15	25	40	15
Швидкість обертання валу X <sub>3</sub> , об/хв.	2.0	2.4	2.8	0.4

Таблиця 2.2 – 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						

Визначаємо коефіцієнти регресії для кодованих значень:

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ji} Y_{ji} , \quad (2.1)$$

де N – кількість дослідів;

j – поточне значення коефіцієнта регресії.

$$b_0 = \frac{1}{8} \cdot (460 + 451 + 432 + 470 + 443 + 442 + 480 + 451) = 453,62$$

$$b_1 = \frac{1}{8} \cdot (460 - 451 + 432 - 470 + 443 - 442 + 480 - 451) = 0,13$$

$$b_2 = \frac{1}{8} \cdot (460 + 451 - 432 - 470 + 443 + 442 - 480 - 451) = -4,625$$

$$b_3 = \frac{1}{8} \cdot (460 + 451 + 432 + 470 - 443 - 442 - 480 - 451) = -0,37$$

$$b_{12} = \frac{1}{8} \cdot (460 - 451 - 432 + 470 + 443 - 442 - 480 + 451) = 2,37$$

$$b_{13} = \frac{1}{8} \cdot (460 - 451 + 432 - 470 - 443 + 442 - 480 + 451) = -7,37$$

$$b_{23} = \frac{1}{8} \cdot (460 + 451 - 432 - 470 - 443 - 442 + 480 + 451) = 6,875$$

$$b_{123} = \frac{1}{8} \cdot (460 - 451 - 432 + 470 - 443 + 442 + 480 - 451) = 9,375$$

Отже, рівняння регресії для кодованих значень параметрів:

$$y = 453,625 - 0,125X_1 - 4,625X_2 - 0,375X_3 + 2,375X_1X_2 - 7,375X_1X_3 + 6,875X_2X_3 + 9,375X_1X_2X_3$$

$$S_{\text{відг}}^2 = \frac{1}{n_0 - 1} \sum_{i=1}^{n_0} (y_{0i} - y_0)^2, \quad (2.2)$$

де  $y_0$  – середнє значення,  $y_0 = 453,62$ .

$$S_{\text{вїдг}}^2 = \frac{1}{6-1} \cdot [(430 - 453,62)^2 + (440 - 453,62)^2 + (430 - 453,62)^2 + (420 - 453,62)^2 + (445 - 453,62)^2 + (435 - 453,62)^2] = 570,5$$

Визначаємо критерій Стюдента для кожного з параметрів регресії:

$$t_j = \frac{b_j \cdot \sqrt{k+1}}{S_{\text{вїдг}}}, \quad (2.3)$$

де  $k$  – порядковий номер коефіцієнта регресії.

$$t_0 = \frac{453,625 \cdot \sqrt{7+1}}{\sqrt{570,5}} = 53,716$$

$$t_1 = \frac{0,125 \cdot \sqrt{7+1}}{\sqrt{570,5}} = 2,8$$

$$t_2 = \frac{-4,625 \cdot \sqrt{7+1}}{\sqrt{570,5}} = 0,53$$

$$t_3 = \frac{-0,375 \cdot \sqrt{7+1}}{\sqrt{570,5}} = -3,1$$

$$t_{12} = \frac{2,375 \cdot \sqrt{7+1}}{\sqrt{570,5}} = 2,6$$

$$t_{13} = \frac{-7,375 \cdot \sqrt{7+1}}{\sqrt{570,5}} = -2,9$$



$$t_{23} = \frac{6,875 \cdot \sqrt{7+1}}{\sqrt{570,5}} = 0,814$$

$$t_{123} = \frac{9,375 \cdot \sqrt{7+1}}{\sqrt{570,5}} = 1,11$$

Визначаємо значення числа ступеней вільності дисперсії адекватності і дисперсії відтворюваності:

$$f_1 = N - d, \quad (2.4)$$

де  $d$  – кількість значимих коефіцієнтів регресії.

$$f_1 = 8 - 4 = 4$$

$$f_2 = n_0 - 1, \quad (2.5)$$

де  $n_0$  – число повторних дослідів.

$$f_2 = 6 - 1 = 5$$

$$[t](5) = 2,571$$

Після відкидання не значимих ефектів взаємодії отримуємо:

$$y \approx 453,62 - 0,13X_1 - 0,31X_3 + 2,37X_1X_2 - 7,37X_1X_3$$

Визначаємо критерій Фішера:

$$F \leq [F](f_1, f_2), \quad (2.6)$$

$$[F](4; 5) = 5,2$$

Визначаємо значення цільової функції за рівнянням регресії:

$$y_1 = 453,625 + 4,625 + 7,375 + 6,875 + 9,375 = 481,875$$

$$y_2 = 453,625 + 4,625 - 7,375 + 6,875 - 9,375 = 448,375$$

$$y_3 = 453,625 - 4,625 + 7,375 - 6,875 - 9,375 = 440,125$$

$$y_4 = 453,625 - 4,625 - 7,375 - 6,875 + 9,375 = 444,125$$

$$y_5 = 453,625 + 4,625 - 7,375 - 6,875 - 9,375 = 434,625$$

$$y_6 = 453,625 + 4,625 + 7,375 - 6,875 + 9,375 = 468,125$$

$$y_7 = 453,625 - 4,625 - 7,375 + 6,875 + 9,375 = 457,875$$

$$y_8 = 453,625 - 4,625 + 7,375 + 6,875 - 9,375 = 453,875$$

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{4} \cdot [(460 - 481,875)^2 + (451 - 448,375)^2 + (432 - 440,125)^2 + (470 - 444,125)^2 + (443 - 434,625)^2 + (442 - 468,125)^2 + (480 - 457,875)^2 + (451 - 453,875)^2] = 617,844$$

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{відг}}^2} \quad (2.7)$$

Визначаємо коефіцієнти регресії для дійсних значень:

$$F = \frac{\sqrt{617,844}}{\sqrt{570,5}} = 1,083$$

$$X_j = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_j} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned}
y &\approx 453,62 - 0,13 \cdot \left(\frac{X_1 - 120}{10}\right) - 0,37 \cdot \left(\frac{X_3 - 2,4}{0,4}\right) + 2,37 \cdot \left(\frac{X_1 - 120}{10}\right) \\
&\quad \cdot \left(\frac{X_2 - 1}{0,5}\right) - 7,37 \cdot \left(\frac{X_1 - 120}{10}\right) \left(\frac{X_3 - 2,4}{0,4}\right) \\
&= 453,62 - 0,013X_1 + 1,56 - 0,93X_3 + 2,22 + 2,37 \\
&\quad \cdot \left(\frac{X_1X_2}{5} - \frac{X_1}{5} - \frac{120}{5} + \frac{120X_2}{5}\right) - 7,37 \\
&\quad \cdot \left(\frac{X_1X_3}{4} - \frac{2,4X_1}{150} - \frac{120X_3}{4} + \frac{480}{4}\right) \\
&= 457,4 - 0,013X_1 - 0,93X_3 + 0,47X_1X_2 - 0,47X_1 - 56,88X_2 \\
&\quad + 56,88 - 1,84X_1X_3 - 4,42X_1 - 221,1X_3 - 884,4 \\
&= -370,12 - 3,94X_1 - 56,88X_2 - 220,17X_3 + 0,47X_1X_2 - 1,84X_1X_3 \\
HV &= -370,12 - 3,94t_1 - 56,88t_2 - 220,17t_3 + 0,47t_1t_2 - 1,84t_1t_3
\end{aligned}$$

**Висновок:** методом планування багатфакторного експерименту отримано адекватну регресійну модель твердості поверхневих шарів після наплавлення дротом Св-08ГС + флюс АН 348 ГОСТ 9087-69 з додаванням графітового порошку від основних факторів впливу, таких як величина струму, кількість графіту у відсотках до маси флюсу, швидкості обертання валу.

Встановлено, що за критерієм Стюдента найбільша твердість поверхневого шару  $t_3 = 220,17$  залежить від швидкості обертання валу, а найменша твердість  $t_2 = 0,47$  – від впливу струму.

### 2.3 Аналіз утворення структури при наплавленні зразків з використанням графітового порошку.

На зразки зі сталі 45 наплавляли дріт Св-08ГС діаметром 1,2 мм під шаром флюсу на установці УД-209М, з додаванням вуглецю (графітовий порошок) у зону сплавлення, який є основним карбідотвірним елементом. Зокрема досліджувалась можливість науглецювання наплавленого шару вуглецем з графітного порошку, який додавали у флюсу. В процесі наплавлення низьковуглецевим дротом у зварювальній ванні розчиняється графітний порошок, який переміщується з металом розплавленної поверхні деталі. Наявність кремнію і марганцю запобігають процесу окислення заліза, вони

вступають в реакцію з киснем та інтенсивно розкислюють розплавлений метал валка [21,17].

Аналогічно, для порівняння, наплавляли деталь, без додавання графітового порошку у флюс. Після наплавлення з отриманих деталей були зроблені зразки для вимірювання твердості.

На рис. 2.1 показано приклад макрошліфа наплавлених покриттів на яких вимірювалась твердість за методом Роквела.



Рисунок 2.1 – Макрошліф наплавленого покриття

В процесі виконання наплавлення, зразки по черзі затискали в патроні установки та наплавляли з використанням суміші флюсу та графіту у різних співвідношеннях. Кількість графітового порошку у співвідношенні до флюсу варіювалась від 0 до 50%. Режим наплавлення в табл.2.3.

Таблиця 2.3 - Режими наплавлювання:

Діаметр дроту $d_e$ мм	1,2
Напруга на дузі $U$ В	26
Сила струму $I$ А	120
Швидкість подачі дроту $V_{тп}$ м/год	129
Швидкість наплавлення $V_{нат}$ 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

Дослідження виявили, що із збільшенням кількості графіту процес наплавлення погіршується, а твердість наплавленого шару зростає. Але є певна межа, після якої графіт припиняє розчинятись в металі наплавленого валка, при цьому твердість наплавленого шару зменшується. Проаналізувавши наплавлені шари та помірявши їх твердість можна зробити висновок, що графіт істотно впливає на твердість наплавленого шару. При додаванні у флюс 25% графіту твердість зросла та становила 55...58 HRC, при подальшому збільшенні кількості вуглецю у флюсі твердість знижується. На діаграмі рис 2.2 показано твердість наплавлених зразків.



Рисунок 2.2 – Вплив кількості графіту на твердість наплавленого шару

Твердість наплавлених валків при додаванні у флюс 25% графіту зросла у два рази і становить 55...58 HRC<sub>c</sub>. Можна зробити висновок, що графіт істотно впливає на твердість наплавленого шару, але при надмірному додаванні твердість зменшилась і становить близько 50 HRC<sub>c</sub> та далі знижується.

З отриманих в ході досліджень зразків виготовлено мікрошліфи для проведення металографічного аналізу. Визначення структури металу проводилась за допомогою мікроскопу МИМ-8М. Зображення фіксувались за допомогою цифрової камери. В ході досліджень було виявлено, що у більшості зразків переважає дрібнозерниста, рівномірна ферито-перлітна структура (рис. 2.3).

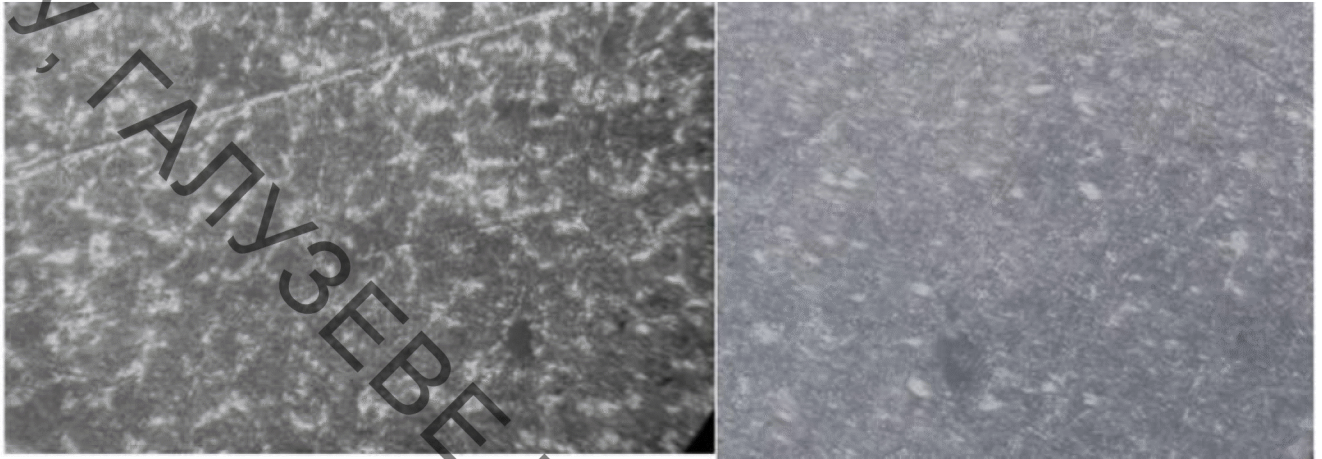


Рисунок 2.3 – структура наплавленого шару: а – 25% графіту; б – 40% графіту

У зразках наплавлених з додаванням графіту частка перліту зросла до 80 - 85%. Це свідчить про те, що частина графіту розчинилась у наплавленому металі тим самим підвищивши вуглецевий вміст та твердість покриття (рис. 2.3, а). З подальшим збільшенням частки графіту у флюсі, він повністю не розчиняється, що видно на рисунку 2.3, б. Твердість покриття знижується.

Розподіл мікротвердості на зразку із сталі 45, наплавлених з додаванням графіту у флюс показано на рисунку 2.5. У порівнянні зі зразком без графіту, рівень мікротвердості значно вищий і досягає 600 МПа на відстані 1.0 мм від поверхні. Рівень максимальної мікротвердості 450 МПа, на зразку наплавленого без графіту, що відповідає твердості на глибині 1,5 мм на зразках з графітом, тобто з використанням графіту у флюсі отримали значне збільшення товщини зміцненого шару зі збереженням якості поверхневого шару без тріщин, пор та напливів. Це пояснюється тим, що при визначеній кількості вуглецю у металі кристалізується евтектика, яка складається з карбіду звліза  $Fe_3C$  та аустеніту, при застиганні з перліту +  $Fe_3C$ . Ця евтектика має інвертовану структуру – в ній матрицею слугує перліт, в якому вкраплена карбідна фаза, що повністю відповідає принципу Шарпі-Бочвару. Дослідження показали, що повна «інверсія» мікроструктури карбідної евтектики досягається у чавунах зі звичайним вмістом вуглецю (2,8 – 3,3 %). Така незвичайна мікроструктура білого чавуну забезпечує високу міцність, в'язкість та зносостійкість металу. [11] Можливо це пояснюється тим, що завдяки нагріву електричною дугою матеріалу деталі внутрішні та поверхневі шари металу

встигають розігріватися до більш високих температур. Враховуючі супутній нагрів деталі до 400-500°C, додаткове підвищення температури на 300-325°C вже переводє метал у область фазових перетворень, які в цих умовах більш повно встигає проводити дифузію вуглецю вглиб металу, що сприяє проникненню зміцненого шару на більшу глибину.

Верхній шар (рис. 2.4), що межує із графітовим порошком у флюсі, переважно утворений з дрібнозернистого ферито-перлітної суміші та включеннями ледебуриту.

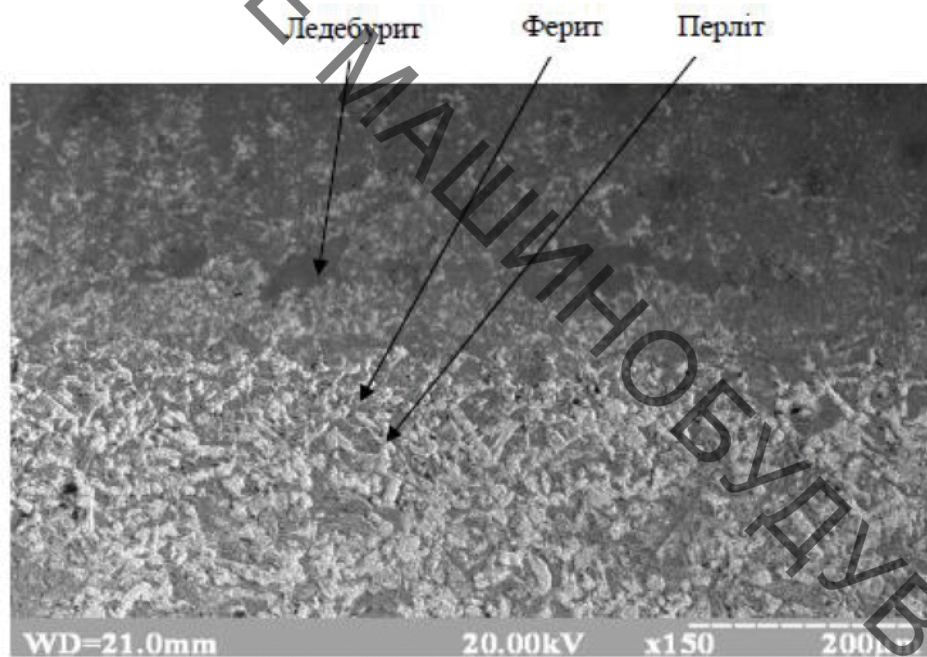


Рисунок 2.4 –Верхній шар наплавленого покриття

Утворення ледебуритних включень можна пояснити великою швидкістю охолодження ванни розплаву внаслідок тепловідведення в метал заготовки та підвищеним вмістом вуглецю у цій зоні, що є наслідком розчинення графітового порошку. Висота підшару становить ~ 0,64 - 0,75мм.

На рисунку 2.5 показана характеристика розподілу мікротвердості наплавленої поверхні з використанням графіту у флюсі та без графіту. Підвищення твердість на глибині 1.5мм пояснюється появою в структурі карбідів заліза, рівномірно розташованих у матриці (перліті). Такий тип мікроструктури відповідає принципу Шарпі-Бочвара [36]. Крім того, однією з цілей, є стабілізування цементиту у зоні тертя та зношування.

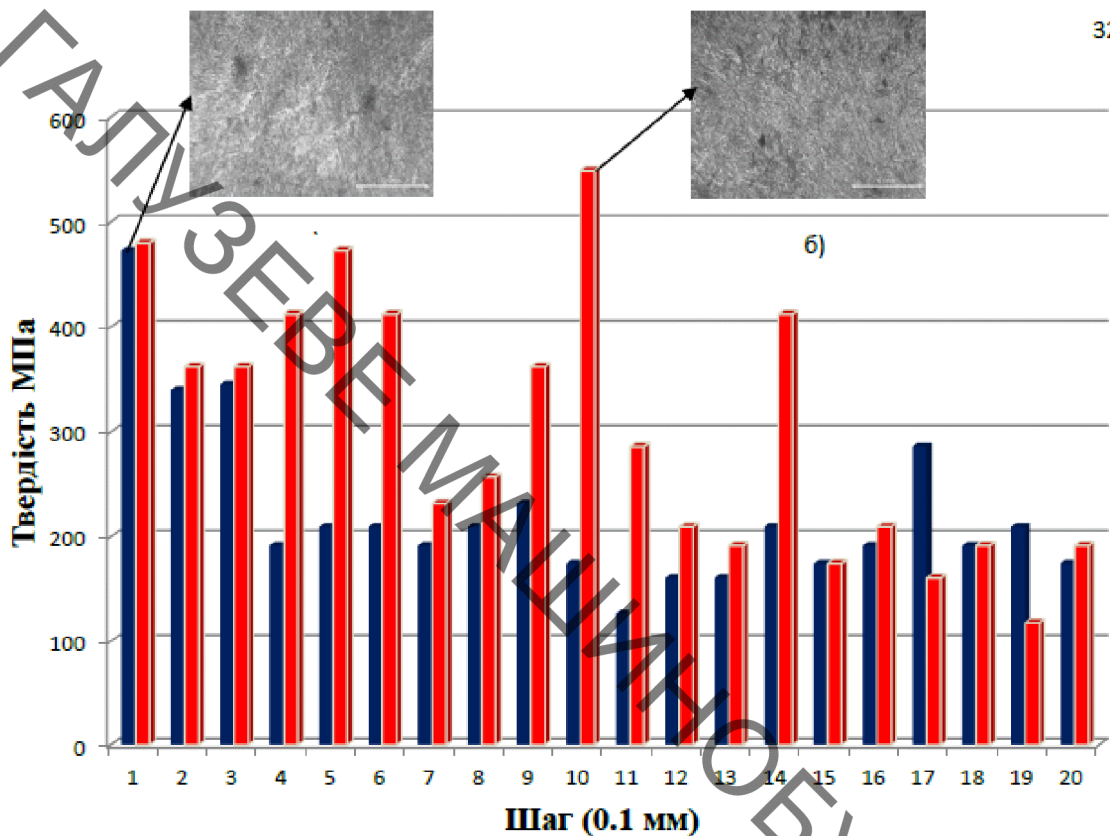


Рисунок 2.5 – Характер розподілу мікротвердості наплавленого шару:

а) дрітом Sv-08ГС; б) дрітом Sv-08ГС з додаванням 25% графіту у флюс

Наплавлений шар високовуглецевого покриття, має досить значну твердість: HRC 54...58 одиниць.

Під час наплавлення відбулося науглецювання поверхні зразка на глибину 0,2...0,4 мм, що підтверджують діаметричні дослідження. На відстані ~ 0,6 мм від зони сплавлення, мікротвердість в наплавленому шарі сягає 5,4032 ГПа. І далі незначне зниження мікротвердості.

Що є результатом наступних явищ:

- 1) В поверхневому шарі утворюється ледебуритна структура з максимальною твердістю. В структурі спостерігаються Перліт + Ледебуритний цементит + Ледебурит.
- 2) В наступному шарі із-за неповного розчинення графітної фази (графітовий порошок) утворюється структура, в якій поряд з перлітом існує ледебуритний цементит, як результат твердість наплавленого шару дещо знижується.



3) Наступні шари – зона термічного впливу неоплавленого металу з невеликою кількістю фериту.

Наплавлений шар має ділянки ледебуриту, перліту та ледебуритного цементиту.

На поверхні спостерігається зменшення мікротвердості у зв'язку з вигоранням, вуглецю.

Таким чином, відбулось розчинення графітового порошку зі складу флюсу у зварювальній ванні, до якого увійшов і метал електродного дроту Св-08ГС.

### **Висновки**

У ході роботи були проведені дослідження, які доводять, що отримати тверді зносостійкі покриття можливо з застосуванням прийомів легування вуглецем шляхом додавання його у наплавочну ванну у вигляді порошкоподібного графіту.

Експеримент показав, що із збільшенням кількості графіту процес наплавлення погіршується, а твердість наплавленого шару зростає. Але є певна межа, після якої графіт припиняє розчинятись в металі наплавленого валка, при цьому твердість наплавленого шару зменшується. Відсоток графіту флюсі істотно впливає на твердість наплавленого шару. При додаванні у флюс 25% графіту твердість зросла та становила 55...58 HRC. Така кількість графітового порошку забезпечує його повне розчинення у металі та максимальну твердість наплавленого шару. При подальшому збільшенні кількості вуглецю у флюсі навпаки понижує твердість наплавленого шару.

## **2.4 Комп'ютерний аналіз міцності устаткування для автоматизації процесу нанесення покриттів**

Для комп'ютерного аналізу міцності устаткування для встановлення, переміщення наплавочної головки автоматизованого процесу нанесення покриття використано програму міцнісного аналізу APM FEM для КОМПАС-3D.

Виконуючі комп'ютерний аналіз міцності установки, для збереження комп'ютерного ресурсу, запропоновано дещо спростити установку, замінивши оригінальні деталі на муляжі, але з дотриманням загального центра мас установки (рисунок 2.6). [3].

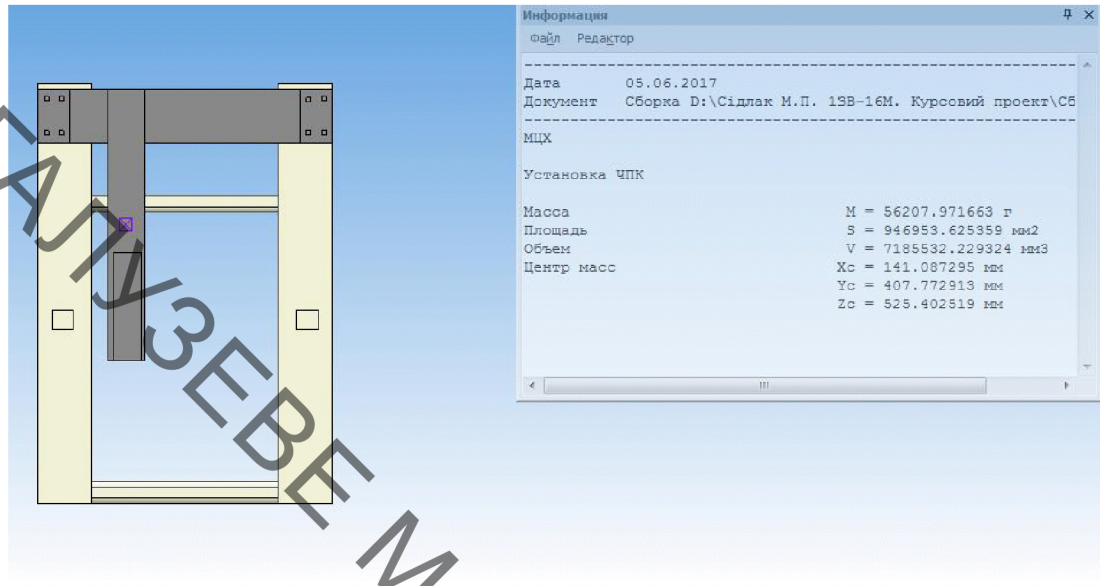


Рисунок 2.6 – Центр мас спрощеного зразка установки

На муляжі задаємо закріплення, прикладаємо силу тяжіння ( $9,81 \text{ г/см}^2$ ) та покажемо сітку кінцевих елементів (рис. 2.7).

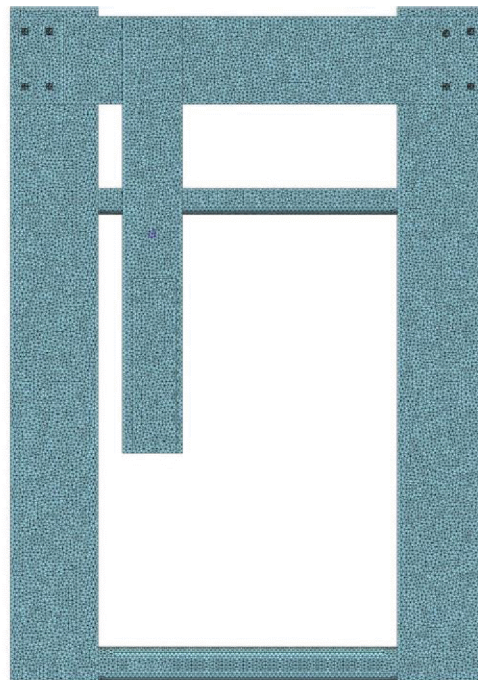


Рисунок 2.7 – Сітка кінцевих елементів

Комп'ютерний аналіз міцності установки для автоматизації процесу нанесення покриття в середовищі Автодеск Інвертор та фесто [13,14,15] показав

наступні результати: напруження по Мізесу (рисунок 2.8), основне напруження(рисунок 2.9), зміщення по осі Y(рисунок 2.10), коефіцієнт запасу міцності (рисунок 2.11).



Рисунок 2.8 – Напруження по Мізесу

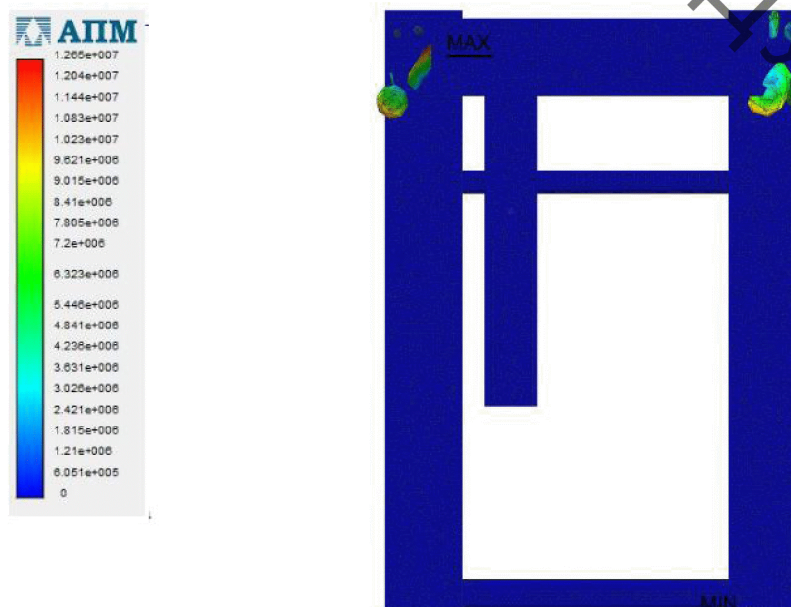


Рисунок 2.9 – Сумарне лінійне переміщення



Рисунок 2.10 – Коефіцієнт запасу текучості

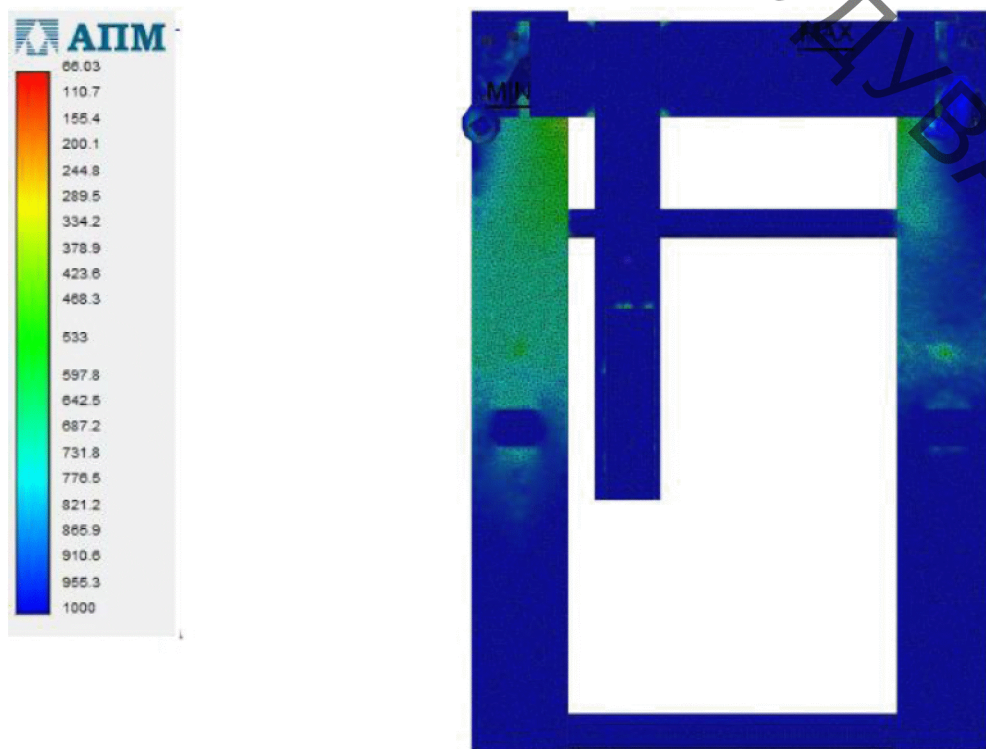


Рисунок 2.11 – Коефіцієнт запасу міцності

Аналіз міцності установки для автоматизації процесу нанесення покриття показав що, згідно отриманих результатів конструкція є досить надійна, зміщення конструкції 0,011 мм, мінімальний запас міцності становить 66 одиниць

## **2.5 Розрахунок сопла мундштук для наплавлення порошковим дротом**

Для автоматичного дугового зварювання і наплавлення плавким порошковим електродом в захисних газах розроблено мундштук. Конструкція якого [17, 21] складається з корпусу 4, контактної наконечника 1, сопла 3. В середині корпусу мундштука є отвори, їх може бути від 3 до 12 для проходження захисного газу, який подається крізь патрубок 8, втулку 6, гумову втулку 5 і кріплення 7.

Мундштук забезпечує захист шва від впливу навколишнього середовища на формування шва при зварюванні, оскільки газ при проходженні через корпус мундштука нагрівається, це призводить до підвищення активності захисного середовища, і повинен створювати ламінарний характер захисту зони наплавлення.

На рис. 2.12 показано мундштук у розрізі, залежно від діаметра електроду необхідно визначити його основні конструктивні розміри.

Розроблений мундштук знижує втрати потужності та нагріву обладнання за рахунок відсутності шунтування зварного струму крізь елементи мундштука, що не призначені безпосередньо для проходження струму. Для наплавлення у захисних газах нагрів обладнання зменшується подачею захисного газу всередину мундштука. Захисний газ нагрівається елементами мундштука; при цьому самі ці елементи охолоджуються.

Такий мундштук стабілізує параметри зварних швів та понижує розбрикування металу із зварної ванни шляхом стабілізації струму, що подається на електрод в процесі наплавлення.

Збільшено ресурс контактної наконечника за рахунок заміни упору. Положення контактної наконечника з напрямними елементами поверхні визначають напрям відхилення від осі контактної наконечника і, як наслідок, місце контакту плавкого електроду з контактним наконечником.

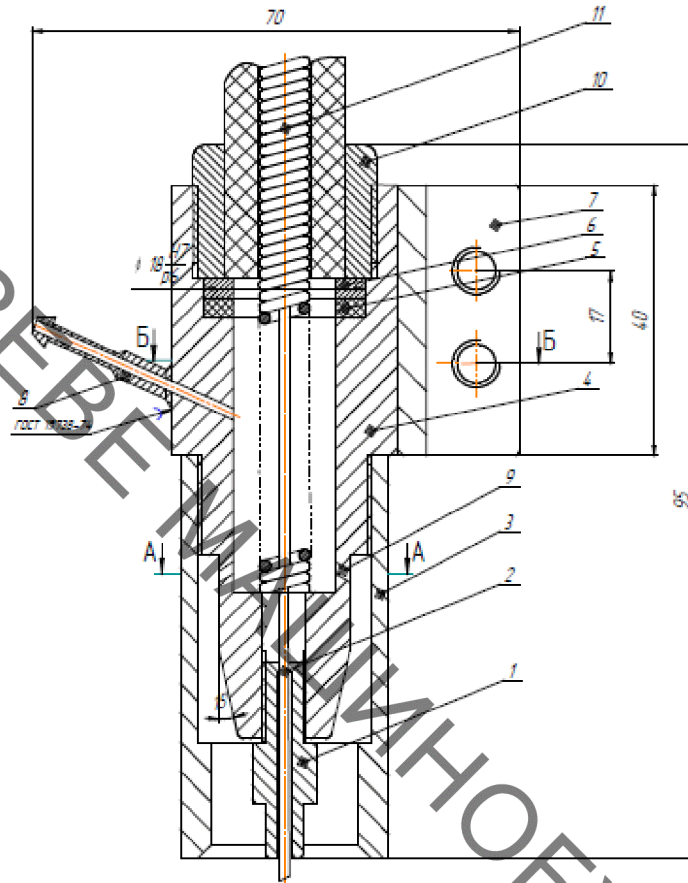


Рисунок 2.12 – Струмопровідний мундштук

## 2.6 Розрахунок розмірів сопла мундштука для наплавлення в CO<sub>2</sub>

Розрахунок діаметра сопла базується на тому, що при витоку газу із сопла пальника не повинно бути макровихрів, тобто потік повинен бути ламінарним.

Для цього повинна виконуватись умова:

$$R_e = \frac{v \cdot (D_c - d_n)}{\nu} < R_{e\text{кр}}, \quad (2.9)$$

$R_e$  – число Рейнольдса ;

$D_c$  – внутрішній діаметр сопла, м ;

$D_M$  - діаметр наконечника пальника, м;

$\nu$  - кінематична в'язкість газу CO<sub>2</sub>, м<sup>2</sup>/с;

$v$  – швидкість потоку м/с ;

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

$Re < Re_{кр}$  – то потік ламінарний, в іншому випадку турбулентний. Для газу  $CO_2$   $Re_{кр} = 1600$  [ТГ]. Слід уникати значень 1500-1750 через непостійність режиму, в наслідок чого можуть бути коливальні процеси.

Швидкість потоку:

$$v = \frac{Q}{S}, \quad (2.10)$$

$Q$  – витрати газу,  $m^3/c$ ;

$S$  – площа перерізу.

Тоді:

$$Re = \frac{v \cdot (D_c - d_H)}{\nu} = \frac{Q}{S} \cdot \frac{(D_c - d_H)}{\nu} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot (D_H^2 - d_H^2)} \cdot \frac{(D_c - d_H)}{\nu} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot (D_c - d_H)} \cdot < Re_{кр}.$$

$$Q = 900 \text{ л/год} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\nu = 7,42 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$Re_{кр} = 1600;$$

$$D_c + d_H > \frac{4 \cdot Q}{\pi \nu Re_{кр}} = \frac{4 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 7,42 \cdot 10^{-6} \cdot 1600} \approx 0,027. \quad (2.11)$$

Тобто повинна виконуватись умова:

$$D_c + d_H \geq 0,027. \quad (2.12)$$

Приймаємо  $D_c = 0,02$ ;

$$d_H = 0,01;$$

$$D_c + d_H = 0,02 + 0,01 = 0,03 > D_c + d_H = 0,02.$$

Розраховуємо число Рейнольда для даного потоку:

$$Re = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot (D_c + d_H)} \cdot \frac{0,25 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 7,42 \cdot 10^{-6} \cdot (0,02 + 0,01)} = 1430;$$

$$Re < Re_{кр}.$$

Розрахунок перепаду тиску на втулці пальника:

Для отримання необхідної подачі газу  $Q = 900 \text{ л/год} = 0,25 \cdot 10^{-3}$   
потрібно забезпечити відповідний перепад тиску на втулці

$$Q = \mu \cdot f \sqrt{\frac{2\Delta p_1}{\rho}} \text{ звідки } \Delta p_1 = \left(\frac{Q}{\mu \cdot f}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{2}; \quad (2.13)$$

де:  $Q = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$\mu$  - коефіцієнт втрат = 0,95;

$f$  – площа отворів;

$$f_i = \frac{\pi d_i^2}{4}; \quad (2.14)$$

$d_i = 0,0015 \text{ м}$ . Тоді  $f = \frac{4}{4} \cdot \pi d_i^2 = 1\pi(0,0015)^2 = 7,065 \cdot 10^{-6}$  ;

$\Delta p_1$  - перепад тиску на втулці.

$$\Delta p_1 = \left(\frac{Q}{\mu \cdot f}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{2} = \left(\frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{0,95 \cdot 7,065 \cdot 10^{-6}}\right)^2 \cdot \frac{1,98}{2} = 610; \quad (2.15)$$

$\Delta p_1 = 0,61 \text{ кПа} = 0,006 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

Розрахунок перепаду тиску в гумових шлангах

$$\Delta p_2 = 0,0246 \cdot \frac{\rho \cdot \nu^{0,25} \cdot Q^{1,75} \cdot l}{d^{4,75}}; \quad (2.16)$$

$l = 4 \text{ м}$ . – довжина шлангів

$d = 0,003 \text{ м}$ . – діаметр внутрішньої поверхні шлангів

$$\Delta p_2 = 0,0246 \cdot \frac{1,98(7,42 \cdot 10^{-6})^{0,25} \cdot (0,25 \cdot 10^{-3})^{1,75} \cdot 4}{0,003^{4,75}} = 48680,$$

$\Delta p_2 = 0,49 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;

Необхідний перепад тиску в системі



$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + p_0 ; \quad (2.17)$$

де:  $p_0 = 0,2 \cdot 10^5$  Па – атмосферний тиск, тоді

$$\Delta p = (0,006 + 0,49 + 0,2) \cdot 10^5 = 0,7 \cdot 10^5 .$$

Отже, розроблений мундштук для наплавлення порошковим дротом в середовищі  $\text{CO}_2$  створює ламінарний потік захисного газу при перепаді тиску в системі  $0,7 \cdot 10^5$  Па. Знижує втрати потужності та нагріву обладнання за рахунок відсутності шунтування зварного струму крізь елементи мундштука.

## 2.7 Висновки до другого розділу

Аналіз отриманих результатів показав:

1. Що за критерієм Стюдента найбільша твердість поверхневого шару  $t_3 = 220,17$  залежить від швидкості обертання валу, а найменша твердість  $t_2 = 0,47$  – при зміні струму;

2. Проведені дослідження доводять, що отримати тверді зносостійкі покриття можливо з застосуванням прийомів легування вуглецем шляхом додавання його у наплавочну ванну у вигляді порошкоподібного графіту;

3. Що, відсоток графіту флюсі істотно впливає на твердість наплавленого шару. При додаванні у флюс 25% графіту твердість зросла та становила 55...58 HRC;

4. Конструкція установки для автоматизації процесу нанесення покриття є досить надійна, зміщення конструкції 0,011 мм, мінімальний запас міцності становить 66 одиниць, як показав аналіз міцності установки для автоматизації процесу нанесення покриття.

5. Розроблений мундштук для наплавлення порошковим дротом в середовищі  $\text{CO}_2$ :

- знижує втрати потужності та нагріву обладнання за рахунок відсутності шунтування зварного струму крізь елементи мундштука;

- стабілізує параметри зварних швів та 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.

### 3 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ

#### 3.1 Аналіз службового призначення двигуна автомобіля «ЗІЛ-130»

Будова двигуна автомобіля «ЗІЛ-130» показана на рисунку 3.1 в повздовжньому та 3.2 в поперечному вигляді [5].

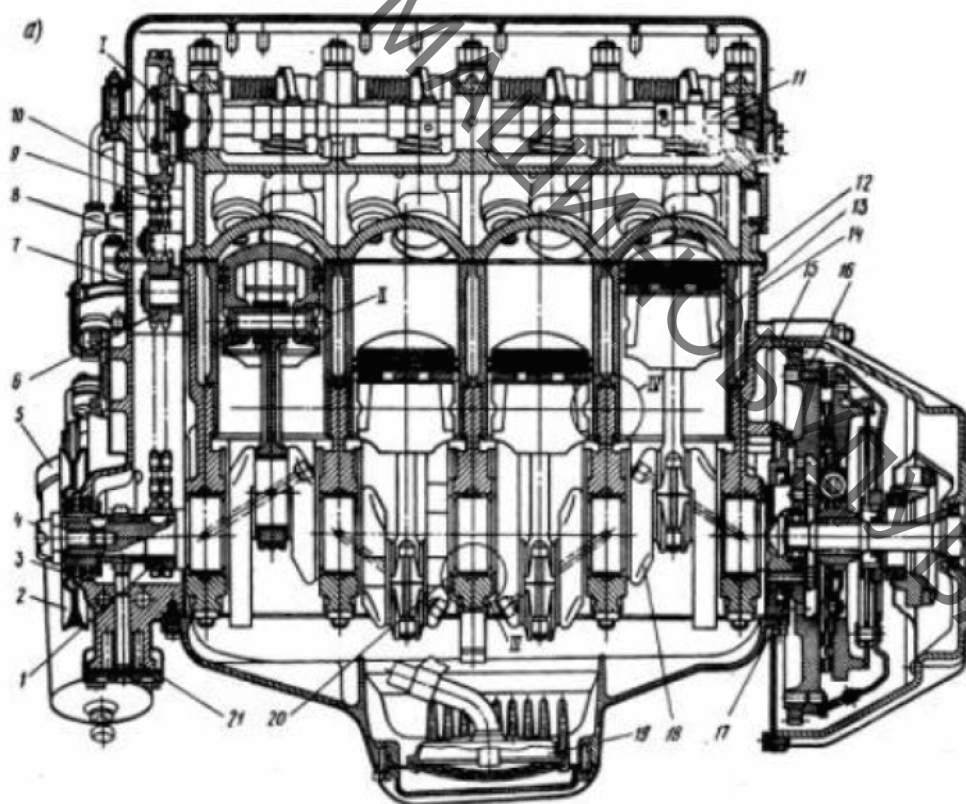


Рисунок 3.1- Повздовжній розріз двигуна: 1-ведуча шестерня приводу газорозподілу; 2-шків колінчастого вала; 3, 17 –самопідземні манжети; 4-храповик; 5-масляний фільтр; 6-зірочка натяжного пристрою; 7,8 - відповідно нижня і верхня кришки розподільних зірочок; 9 -ланцюг приводу механізму газораспределения; 10 -ведена шестерня механізму газорозподілу; 11- розподільний вал; 12 головка циліндрів; 13- гільза циліндра; 14 - блок циліндрів; 15 -картер зчеплення; 16- маховик; 18 - колінчастий вал; 19 - масло приймач; 20- упорна шайба; 21-масляний насос.

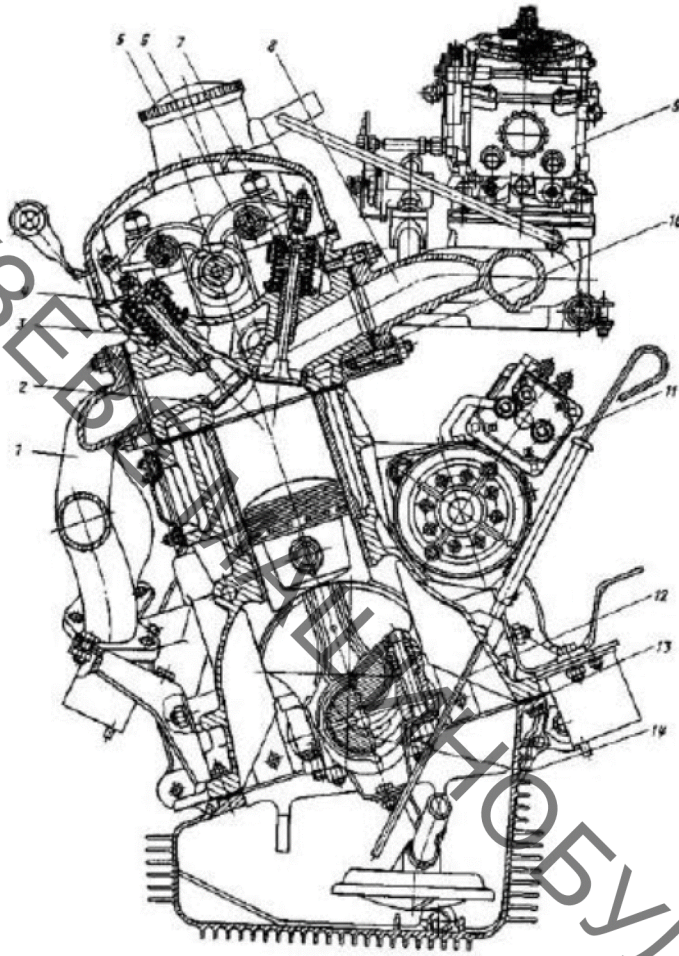


Рисунок 3.2 – Поперечний розріз двигуна: 1 – колектор; 2 – сідло випускного клапана; 3 – пружина клапана велика; 4 – клапан випускний; 5 – пробка маслозаливного отвору; 6 – коромисло клапана; 7 – клапан впускний; 8 – труба впускна; 9 – карбюратор; 10 – сідло впускного клапана; 11 – стартер; 12 – шуп масляного картера; 13 – прокладки масляного картера; 14 – вкладки підшипника шатуна.

Колінчатий вал з блоку циліндрів знімають із двигуна, в якому попередньо зняті: головка циліндрів, нижня та верхня кришки зірочок, дно картера, цеп привода газорозподілу, кришка заднього сальника та гільзи з шатунами і поршнями; із шпильок кріплення кришок усіх корінних підшипників відкрити гайки та зняти кришки разом з втулками та кільцями кришки; витягнути колінчастий вал і втулки із блоку циліндрів [5].

### 3.2 Конструкторсько-технологічна характеристика колінчастого валу

Колінчатий вал отримує силу, яка йому передається шатунами від поршнів та перетворює її в крутний момент, який в свою чергу передається через маховик до трансмісії. Колінчатий вал двигуна ЗІЛ130 сталевий.

Він складається з двох типів шийок корінних та шатунних, а також противаг. В передній частині валу знаходиться шків приводу вентилятора та шпонковий паз для розподільної шестерні. Задня частина колінчастого вала створена у вигляді фланцю, до якого болтовим з'єднанням прикріплений маховик [4].

У задній торцевій частині колінчастого валу встановлений підшипник валу коробки передач. Від кількості циліндрів залежить розташування шийок. Шатунні шийки колінчастого вала виготовляють в різних площинах для забезпечення урегулювання тактів в циліндрах.

У двигуні кількість корінних шийок колінчастого валу на одну більше за шатунні. Кожна шатунна шийка має з двох сторін корінну, вони з'єднані між собою щоками. Для зменшення відцентрової сили, що створюється кривошипамі, на колінчастого валу виготовлені противаги. Для того аби збільшити твердість поверхні шийок валу їх піддають гартуванню струмами високої частоти.

Корінні та шатунні шийки з'єднані каналами які висвердлені в щоках валу. Ці канали слугують для підведення масла від корінних підшипників до шатуна. У кожній шатунній шийці є порожнина яка збирає весь бруд в себе а також сюди потрапляє мастило від корінних шийок. При обертанні валу частинки бруду які є в маслі, під дією відцентрової сили відділяються від мастила та осідають на стінці брудозбірника, а до шатунних шийок потрапляє очищене масло. Очищення брудозбірників відбувається через загорнені в їх торцях різьбові пробки тільки коли двигун розбирають. Переміщення валу в подовжньому напрямі обмежується упорними шайбами, котрі розташовані із двох сторін першого корінного підшипника. У місцях виходу колінчастого вала з картера двигуна є сальники та ущільнення які запобігають витіканню мастила. На передньому кінці валу встановлений гумовий сальник, а на задньому кінці виготовлене мастилогінне різьблення [4].

Маховик зменшує нерівномірність роботи двигуна та виводить поршні з мертвих точок, полегшує запуск двигуна та сприяє плавному зрушенню автомобіля з місця. Маховик виготовлений із масивного чавунного диска та

приєднаний до фланцю колінчастого валу болтовим з'єднанням. При виготовленні маховик балансується разом із колінчастим валом.

За своєю формою та конструкцією деталь відноситься до класу «Вали».

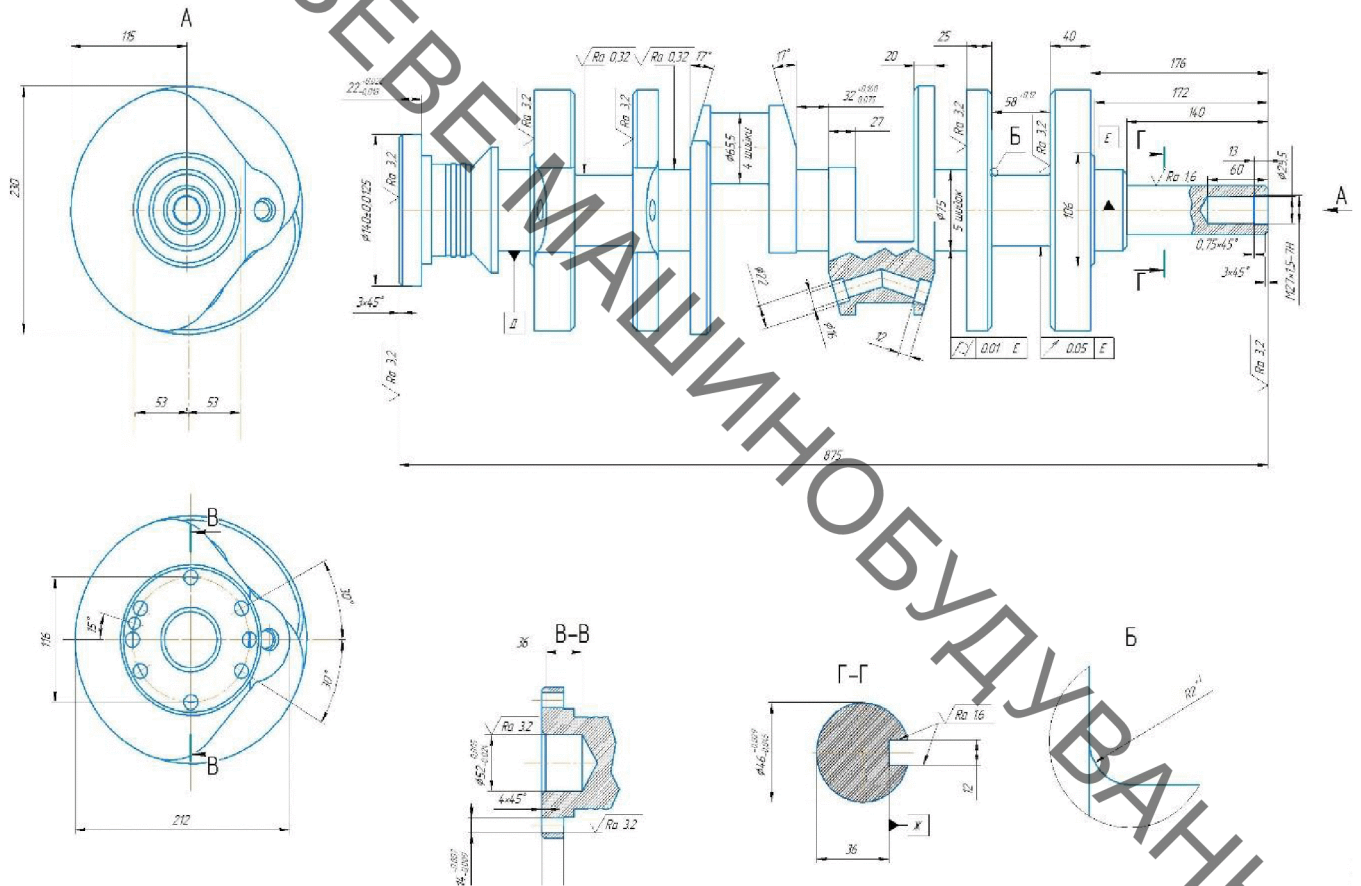


Рисунок 3.3 – Робоче креслення колінчастого валу

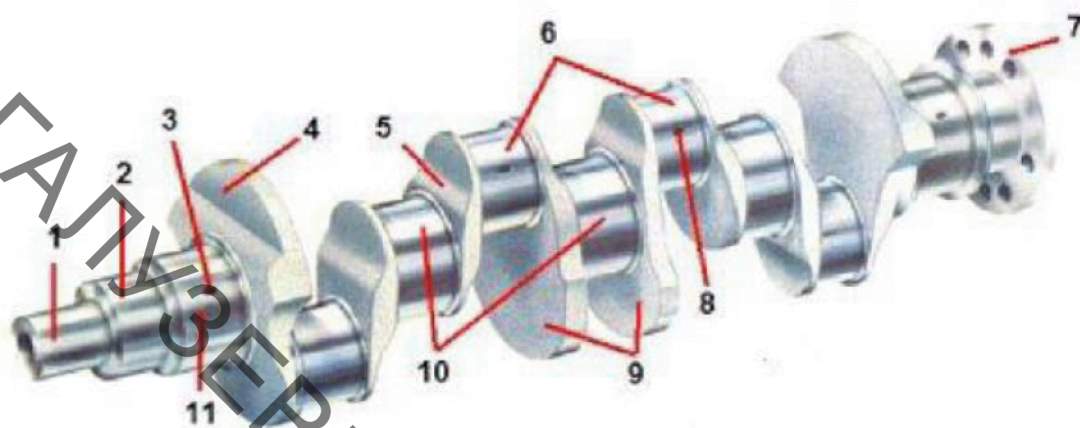


Рисунок 3.4 – Ескіз колінчастого вала з вказаними номерами поверхонь  
 1-носок колінчастого вала; 2-носадне місце зірочки (шестерні) приводу  
 розподільного вала; 3-отвір підведення мастила до корінної шийки; 4-  
 противага; 5-шока; 6-шатуні шийки; 7-фланець крутня; 8-отвір підведення олії  
 до шатунової шийки; 9-противаги; 10-корінні шийки; 11-корінна шийка  
 упорного підшипника.

Колінчастий вал виготовлений із конструкційної вуглецевої якісної сталі 45 ГОСТ 1050-88. Сталь 45 має всі якості для обробки на металорізальних верстатах без утруднень. Хімічний склад показано в таблиці 3.1, механічні властивості в таблиці 3.2. [6].

Сталь 45 використовується для виготовлення колінчатих і розподільних валів, шпинделів, шестерні, циліндрів, кулачків, бандажів і інших нормалізованих, вдосконалених та піддається поверхневій термообробці деталі, для яких потрібна підвищена міцність. В деяких випадках деталі виготовлені з даного матеріалу потребують термічної обробки для зміни твердості та підвищення зносостійкості. Замінниками сталі можуть бути наступні матеріали з подібними властивостями: Сталь 40X, Сталь 50, Сталь 50Г2 [6].

Таблиця 3.1– Хімічний склад у % матеріалу Сталь 45 ГОСТ 1050-88

Найменування	Значення
Вміст заліза (Fe) , %	~97
Вміст кремнію (Si), %	0,17..0,37
Вміст марганцю (Mn), %	0,5..0,8
Вміст міді (Cu), %	0..0,25
Вміст нікелю (Ni), %	0..0,25
Вміст сірки (S), %	0..0,04
Вміст вуглецю (C), %	0,42..0,5
Вміст фосфору (P), %	0..0,035
Вміст хрому (Cr), %	0..0,25
Вміст арсену (As), %	0..0,8

Таблиця 3.2 – Механічні властивості Сталі 45 ГОСТ 1050-88

Найменування	Значення	Обробка
Звуження	4,5	гартування при температурі 860°C з подальшим відпуском
Видовження після розриву	10	Аналогічно як і для звуження
Твердість за Брінелем , HB	170	Відпал
Густина , кг/м <sup>3</sup>	7826	
Межа міцності , МПа	640	Аналогічно
Межа текучості , МПа	430	Аналогічно

Температура критичних точок матеріалу Сталь 45 [6]:

$$Ac_1 = 730 , Ac_3(Ac_m) = 755 , Ar_3(Arc_m) = 690 , Ar_1 = 780$$

Таблиця 3.3 – Характеристика Сталь 45 ГОСТ 1050-88

Зварюваність	Важко зварюється
Схильність до відпускнуї крихкості	Не схильна
Флокеночутливість	Малочутлива

Для визначення придатності даного матеріалу до наплавлення та напилення необхідно визначити значення вуглецевого еквіваленту [7]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{15} [\%]; \quad (3.1)$$

Обрахуємо вуглецевий еквівалент для матеріалу сталь 45:

$$C_e = 0,42 + 0,6/6 + 0,25/24 + 0,2/40 + 0,25/5 = 0,538 \%$$

Оскільки вуглецевий еквівалент більший за 0,25 то перед наплавленням вал необхідно нагріти до температури, розрахованою за формулою:

$$T_H = 350 \cdot \sqrt{C_{екв} - 0,25}; \quad (3.2)$$

$$T_i = 350 \sqrt{0,538 - 0,25} = 187,83 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для уникнення появи мікроскопічних тріщин та кращого з'єднання матеріалу, що наноситься із основним металом рекомендується здійснити підігрів деталі до 200..250<sup>o</sup>C.

Температура попереднього нагріву становить 200–220 <sup>o</sup>C для покращення процесу сплавлення між основним і наплавленим металом, а також для запобігання появи мікротріщин.

Показник H.C.S – оцінює чутливість матеріалу до гарячих тріщин [18].

$$H.C.S. = \frac{C \cdot \left( S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right)}{3Mn + Cr + Mo + V} \cdot 10^3 \quad (3.3)$$

$$H.C.S. = \frac{0,538 \cdot \left( 0,034 + 0,033 + \frac{0,25}{25} + \frac{0,25}{100} \right)}{3 \cdot 0,6 + 0,25} \cdot 10^3 = 39,97$$

При H.C.S.<1.7 тріщини не виникають, при H.C.S.>2, то тріщини виникнуть при наплавленні.

При звичайному зварюванні низьколегованої сталі тріщини виникають при H.C.S.=4.



Отже, при наплавленні сталі 45, гарячі тріщини виникають, тому необхідний попередній підігрів.

Вказані на кресленні квалітети точності механічної обробки відповідають параметрам шорсткості. Базування деталі виконується в центрах та центрозміщувачі. Розміри деталі вказані на кресленні можна легко перевірити. Можливе суміщення технологічних та вимірювальних баз і необхідність додаткових технологічних операцій для одержання заданої точності та шорсткості оброблених поверхонь [6].

Отже, можна зробити висновок, що деталь є технологічною.

Кількість деталей що підлягають відновленню:  $P_v = 1000$  шт/рік.

### 3.2.1 Якісна властивість технологічності

Деталь «вал колінчатий» виготовлена з легованої сталі 45 ГОСТ 1050-88 і проходить термічну обробку, випробовує жолоблення, яке можливе при нагріванні і охолодженні деталі. Необхідну твердість можна досягти в умовах виробництва.

За робочим кресленням деталі рисунок 3.1 бачимо, що діаметральні розміри шийок  $\varnothing 75js4$ ;  $\varnothing 65,5H0$ , всі шийки легко доступні інструменту для точіння, наплавлення та подальшого шліфування. Так як корінні шийки знаходяться на одній осі а шатунні шийки знаходяться на різних осях для кожного виду операцій на верстат потрібно встановити вісезміщувач.

Завдяки проведеному аналізу можна заявити те, що колінчастий вал є технологічною деталлю і її можна обробити адже вона проста за конструкцією.

### 3.2.2 Кількісна властивість технологічності

Визначення рівня уніфікації.

Коефіцієнт уніфікації знайдемо за формулою [5]:

$$K_y = \frac{Q_y}{Q_{заг}} \quad (3.4)$$

Коефіцієнта точності обробки:

Знайдемо коефіцієнт уніфікації[8]:

$$K_y = \frac{58}{110} = 0.52$$

При  $K_y \geq 0.937$  деталь відноситься до технологічних.

Таблиця 3.4 – Розміри деталі

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри радіуси	Шорсткість	Різь метрична
875*	Ø230*	45°(6)*	Ra 3,2(25)*	M27*1,5-7H*
32 (5)	Ø75* (5)	R2(9)	Ra 3,2 (5)*	
58 (4)	Ø65,5	R2 (8)	Ra 3,2 (4)*	
140*	Ø46	45°*	Ra 1,6 *	
40 (2)*		17°	Ra 3,2*	
25 (2)*		17°	Ra 3,2*	
20 (2)*		17°	Ra 3,2*	
27 (2)		17°	Ra 3,2*	
22	Ø140*	45°*	Ra 3,2*	
172		45°*	Ra 1,6 *	
176		45°*	Ra 1,6 *	
115*			Ra 3,2*	
230*			Ra 3,2*	
53			Ra 3,2*	
116			Ra 3,2*	
212			Ra 3,2*	
140*			Ra 3,2*	
22	Ø14(6)		Ra 3,2*	
36	Ø52	45°*	Ra 3,2*	
60*	Ø25,5	45°*	Ra 1,6 *	
12	Ø22		Ra 3,2*	
Σ <sub>заг.</sub> = 31	Σ <sub>заг.</sub> = 18	Σ <sub>заг.</sub> = 33	Σ <sub>заг.</sub> = 27	Σ <sub>заг.</sub> = 1
Σ <sub>уніф.</sub> = 11	Σ <sub>уніф.</sub> = 7	Σ <sub>уніф.</sub> = 12	Σ <sub>уніф.</sub> = 27	Σ <sub>уніф.</sub> = 1

Примітка: позначення «\*» мають уніфіковані розміри.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{m.o.} = 1 - \frac{1}{T_{cp.}} \quad (3.5)$$

де  $T_{cp.}$  – середній квалітет точності розмірів.

$$T_{cp.} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad (3.6)$$

де  $T_i$  – поточне значення квалітету для певної поверхні,  
 $n_i$  – кількість поверхонь даного квалітету.

Таблиця 3.5 – Визначення точності обробки

Квалітет (розміри)	Кількість поверхонь	Розрахунок
4(Ø75js4;)	5	4·5=20
1(Ø65,5H0)	4	1·4=4
6(Ø140js6;Ø46R6;Ø52m6; Ø14k6)	9	6·9=54
Сума	18	78

$$T_{\text{ср.}} = \frac{4 \cdot 5 + 1 \cdot 4 + 6 \cdot 9}{18} = 4,3$$

$$K_{\text{т.о.}} = 1 - \frac{1}{4,3} = 0,77$$

Так як коефіцієнт точності обробки  $K_{\text{т.о.}}$  менше 0,7...0,8, то деталь технологічна.

Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{\text{ш.}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср.}}} \quad (3.7)$$

де  $\text{Ш}_{\text{ср.}}$  – середня шорсткість поверхонь.

$$\text{Ш}_{\text{ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Ш}_i n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad (3.8)$$

де  $\text{Ш}_i$  – поточне значення шорсткості певної поверхні,  
 $n_i$  – кількість поверхонь даної шорсткості.

Таблиця 3.6 – Коефіцієнт шорсткості поверхні

Показники шорсткості	Кількість поверхонь	Розрахунок
Ra 0,32 (5Ø75, 4Ø65,5)	9	0,32·9=2,88
Ra 1,6 (Ø46, Ø25,5)	2	1,6·2=3,2
Ra 3,2 (Ø140, 6Ø14, Ø52, Ø22)	9	3,2·9=28,8
Ra 3,2 всі інші поверхні	16	3,2·16=51,2
Сума	37	86

$$Ш_{ср.} = \frac{86}{5,12} = 16,8$$

$$K_{т.в.} = \frac{1}{16,8} = 0,06$$

Так як коефіцієнт шорсткості поверхні  $K_{т.в.}$  менше 0,32, то деталь технологічна [8].

Розглянувши всі позитивні і негативні фактори з урахуванням кількісних показників можна зробити висновок, що деталь досить технологічна. Тобто зношені поверхні доцільно відновлювати, використовуючи різні методи відновлення.

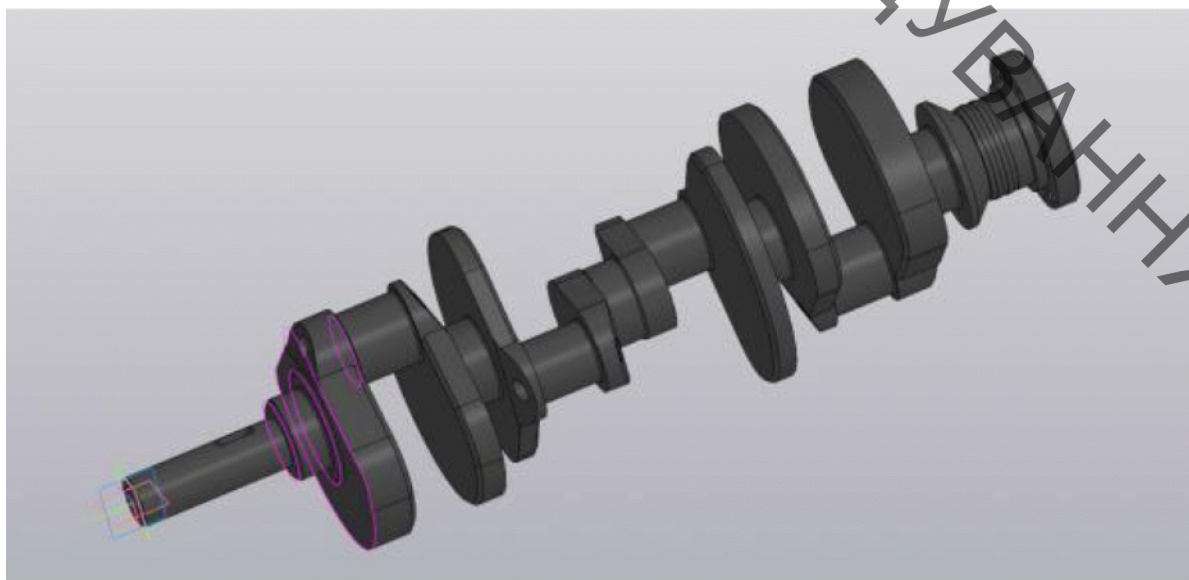


Рисунок 3.5 – 3-D модель колінчастого вала

Габаритні розміри 875x230мм, маса 53,75 кг

### 3.3 Дефектування колінчатого валу

Відновлення колінчастого валу починається із усунення биття, його згинають в протилежну сторону в 10 раз більше. Биття 0,05 мм вважається допустимим і без ремонту .

За робочим кресленням шатунні шийки колінчастого вала мають 65,50мм. в діаметрі, а корінні шийки 75,00мм.

Вимоги після ремонту валу:

циліндричні поверхні шийок, шорсткість повинна відповідати  $Ra = 0,32$  мкм.

Для того щоб перевірити технічний стан валу проводять дефекацію . Дефектацію деталей проводять за допомогою таблиці дефектації та технічних вимог до ремонту.

Дефектацію потрібно проводити в добре освітленому приміщені. Виміри та контроль якості проводять за допомогою інструментів які зазначають в технічних вимогах до ремонту.

Щоб підрахувати кількість одного типу дефекту на партії деталей використовують формулу яка визначає коефіцієнт повторюваності  $K_{нд}$ , він дозволяє визначити відношення кількості деталей з однотипним дефектом до загальної кількості деталей придатних для ремонту[9].

$$K_{н.д} = \frac{n_{д}}{n_{заг}}, \quad (3.9)$$

де:  $K_{н.д}$  – коефіцієнт повторюваності дефектів;

$n_{д}$  – деталі одного найменування з даним дефектом;

$n_{заг.}$  – загальна кількість ремонтпридатних деталей.

Колінчатий вал має такі дефекти:

- знос корінних шийок ( $\varnothing 75$ );
- знос шатунних шийок ( $\varnothing 65,5$ ).

При дефектації валу виконують наступні операції:

А) За допомогою звичайного зорового або магнітно-порошкового контролю оглядають деталь на наявність тріщин, сколів та інших видимих дефектів.

Б) Мікрометром визначають знос на поверхнях  $\varnothing 75$ ,  $\varnothing 65,5$  мм.

В) Вал міряють на прогин за допомогою спеціальних вимірювальних приладів.

Дефект 1. Знос корінних шийок колінчастого валу який виходить за допустиму межу розміру  $\varnothing 75js4 \frac{+0,160}{-0,075}$ .

Дефект 2. Знос шатунних шийок колінчастого валу який виходить за допустиму межу розміру  $\varnothing 65,5H0^{+0,12}$ .

Дефекти виникли в результаті тертя та вдриву частинок металу з поверхні валу. За допомогою мікрометра марки МН-75 ГОСТ 64318-80 знаходимо величину дефектів 1 та 2.

На рис. 3.6 показано ремонтне креслення колінчастого валу, а в табл. 3.7 наведені дефекти та основні способи їх виявлення.

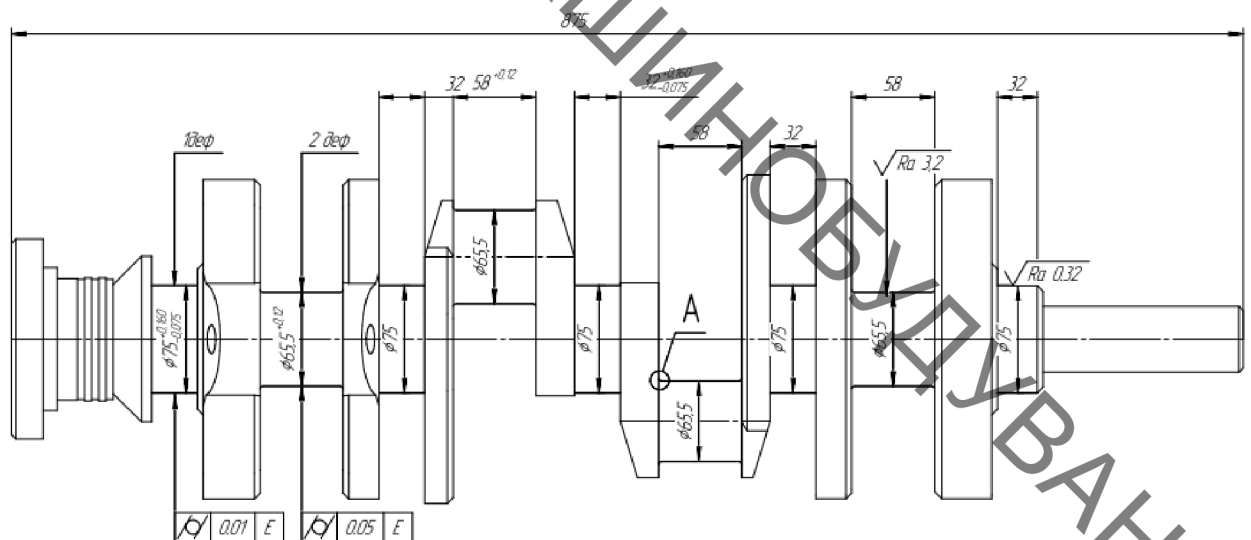


Рисунок 3.6 – Ремонтне креслення колінчастого валу

Таблиця 3.7 – Дефектація колінчастого валу

п/п	Дефект	Спосіб виявлення дефекту. Вимірювальний інструмент	Розміри, мм	
			За кресленням	Допустимий
	Спрацювання поверхні валу (Деф.1)	Мікрометр М375-1 Штангенциркуль ШЦ I 0-200	$\varnothing 75js4 \frac{+0,160}{-0,075}$	74,925
	Спрацювання поверхні валу (Деф.2)	Мікрометр М375-1 Штангенциркуль ШЦ I 0-200	$\varnothing 65,5H0^{+0,12}$	65,5

Щоб виявити приховані тріщини можна скористатися таки методами неруйнівного контролю:

1. Магнітно-порошковий метод
2. Електронно-імпульсний метод
3. Ультразвуковий метод

При наявності тріщин вал бракують та відправляють на утилізацію. Відповідно до вихідних даних призначаємо середньо-серійний тип виробництва. Величина партії запуску в ремонт дорівнюється:

$$P_{\text{д}} = 366 - 104 - 10 = 252(\text{днів})$$

$$P_{\text{зм}} = \frac{1000}{252} \cdot 6 = 24(\text{мм})$$

**Висновки:** за результатами дефектування поверхонь валу колінчастого видно, що найбільш повторюваним дефектом є спрацювання опорних шийок під підшипники ковзання  $\varnothing 75 \text{js}4 \frac{+0,160}{-0,075}$  та шатунних шийок  $\varnothing 65,5 \text{H}0^{+0,12}$ . Інші дефекти зустрічаються значно рідше, що необхідно врахувати під час проектування технології відновлення колінчастого валу.

### 3.4 Визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь колінчастого вала

Основним способом відновлення зношених робочих поверхонь колінчастого вала (деф. 1,2) обрано наплавлення в середовищі захисних газів. Для проведення відновлення за обраним способом необхідно виконати наступні операції: підготовка поверхні під наплавлення; екранування суміжних поверхонь із відновлюваними; нанесення покриття наплавленням в середовищі захисних газів; механічна обробка нанесеного покриття; контроль якості відновленої поверхні.

Нанесення покриття наплавленням в середовищі захисних газів дає можливість отримати покриття товщиною до 5 мм. Отже товщину відновлюваного шару (2...3 мм) можна отримати за один прохід. Усунення дефектів 1, 2 необхідно здійснити за 1 перехід, що зумовлено особливостями кріплення деталі під час наплавлення.

Механічна обробка нанесеного покриття забезпечує формування поверхонь деталі із розмірами та параметрами, що відповідають робочому кресленню.

Головна величина припуску є мінімальним припуском на обробку, якої буде достатньо щоб усунути погрішності на одному переході, а також дефекти виникають за минулого переходу.

Для поверхні:  $\varnothing 75js4 \frac{+0,160}{-0,075}$  :

Вихідні данні:  $\delta_{\text{заг.}} = 1560 \text{ мкм}$  (поле допуску заготовки)

$\delta_{\text{дет.}} = 235 \text{ мкм}$  (поле допуску деталі)

Загальне уточнення:

$$K_{\text{заг.}} = \delta_{\text{заг.}} / \delta_{\text{дет.}} = 1560 / 235 = 6,64 \quad (3.12)$$

Для попереднього шліфування:  $E_1 = 3$ , шліфування чистового:  $E_2 = 2$ , для остаточного шліфування:  $E_4 = 1,11$ .

Допуски кожної ступені механічної обробки:

$$\delta_1 = \delta_{\text{заг.}} / E_1 = 1560 / 3 = 520 \text{ мкм (IT14)}$$

$$\delta_2 = \delta_1 / E_2 = 520 / 2 = 260 \text{ мкм (IT8)}$$

$$\delta_3 = \delta_2 / E_3 = 260 / 1,11 = 235 \text{ мкм (IT4)}$$

### 3.5 Формування маршруту технологічного процесу відновлення колінчастого валу

Згідно результатів дефектування і технології відновлення дефектів складаємо план технологічного процесу відновлення валу циліндричного редуктора. Схема розробленого технологічного процесу показано на рис. 2.1. виконується у наступній послідовності:

05 – Миття: помити деталь;

10 – Очисна: очистити піскоструменевою обробкою зношені поверхні валу;

15 – Дефектувальна: виміряти відповідність розмірів поверхонь 1-2 за ескізом;

20 – Токарна: точити поверхні 1, 2 до розміру  $\varnothing 74,5 \begin{smallmatrix} -0,05 \\ -0,1 \end{smallmatrix}$  мм,  $\varnothing 65 \begin{smallmatrix} -0,05 \\ -0,1 \end{smallmatrix}$  мм відповідно;

25 – Наплавлення: наплавити поверхні 1,2 до розмірів  $\varnothing 77 \begin{smallmatrix} +0,8 \\ -0,6 \end{smallmatrix}$  мм,  $\varnothing 67 \begin{smallmatrix} +0,8 \\ -0,6 \end{smallmatrix}$  мм, відповідно;

30 –Правильна: правити деталь;

35 –Шліфувальна: – шліфувати поверхню 1 до розміру  $\varnothing 75 \begin{smallmatrix} +0,4 \\ +0,3 \end{smallmatrix}$  мм, начорно та начисто;

– шліфувати поверхню 2 до розміру  $\varnothing 65 \begin{smallmatrix} +0,4 \\ +0,3 \end{smallmatrix}$  мм начорно та начисто



45 – Шліфувальна: шліфувати поверхню 1 остаточно до розміру  $\varnothing 75js4 \frac{+0,160}{-0,075}$  ;

– шліфувати поверхню 2 остаточно до розміру  $\varnothing 65,5H0^{+0,12}$  ;

50 – Контрольна: провести визначення відповідності розмірів до робочого креслення.

Маршрут відновлення валу циліндричного редуктора наведено на рисунку 3.7.

Данні визначення припусків та граничних розмірів виконано за стандартними методиками та занесено до таблиці 3.5 [29, 28].

Таблиця 3.5 - Дані визначення припусків і граничних розмірів

Операція $\varnothing 75js4 \frac{+0,160}{-0,075}$	Величина, що визначає $Z_{min}$ , МКМ				$Z_{mi}$ , МКМ	Розрахункові розміри відновл. дет.	Допуск на розм., МКМ	Гран. розм. віднов. дет., мм		Гран. знач. припуску, мм	
	$R_z$	H	$\rho$	$E_y$				max	min	$Z_{min}$	$Z_{max}$
Відновлена деталь	160	100	40	0	-	76,053	1560	77,613	76,053	-	-
Шліфування											
чорнове	100	100	2,4	0	600	75,453	520	75,973	75,453	0,600	1,640
чистове	30	30	1,6	0	405	75,048	260	75,308	75,048	0,405	0,665
Шліфування остаточно	7	18	0,8	0	123	74,925	235	75,16	74,925	0,123	0,148

Загальна товщина нанесеного шару становить  $(2,453 + 1,128)/2 = 3,581$  мм, а на сторону приблизно 1,6...1,8 мм.

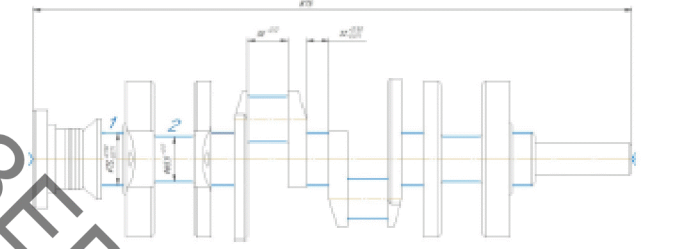
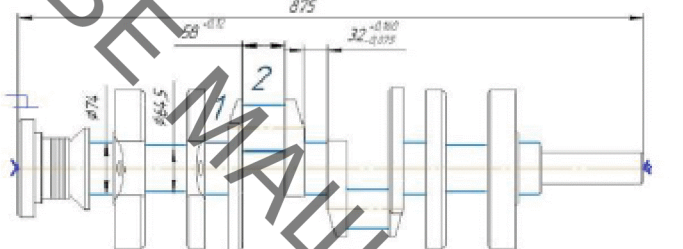
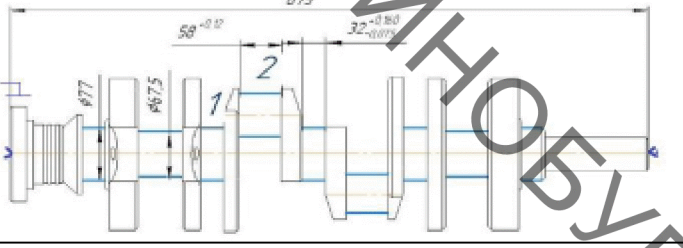
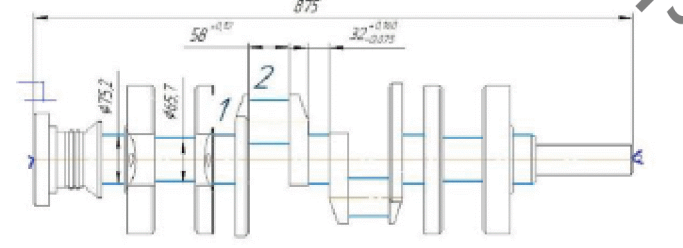
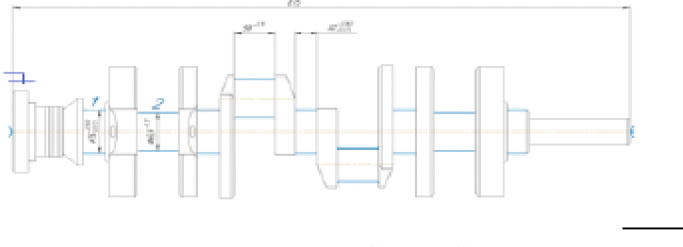
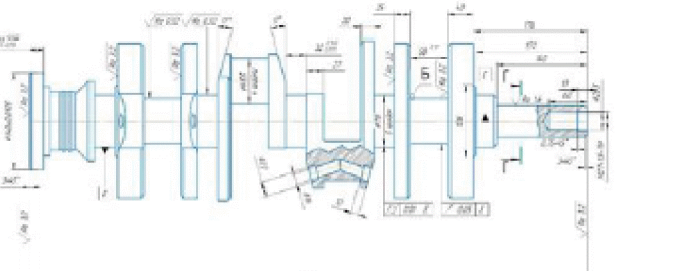
№	Найменування операцій та технічних переходів	Схема обробки	Обладнання
015	<p><u>Вітвіна</u></p> <p>1. Установити на знами деталь</p> <p>2. Мити деталь розчином Лаванд 10%</p>		<p>1. Струменеві-камерна машина ОН-4610</p>
010	<p><u>Дефектування</u></p> <p>1. Дефектувати деталь та визначити всі дефекти які потрібно відновити</p>		<p>1. Контрольний стіл</p> <p>2. Мікрометр МН-75 ГОСТ 64318-80</p>
015	<p><u>Токарна</u></p> <p>1. Встановити та закріпити деталь</p> <p>2. Точити поверхню 1 до розмірів <math>\varnothing 74</math>,</p> <p>3. Точити поверхню 2 до <math>\varnothing 64,5</math>мм згідно ескізу з використанням центрошліувача</p> <p>3. Зняти деталь</p>		<p>1. Токарний верстат 16Б16КП</p>
020	<p><u>Наплавлення</u></p> <p>1. Встановити та закріпити</p> <p>2. Наплавити поверхні 1, 2 до розмірів <math>\varnothing 77</math>, <math>\varnothing 67,5</math> згідно ескізу з використанням центрошліувача</p> <p>3. Зняти деталь</p>		<p>1. Установка для наплавлення з ЧПК</p> <p>2. Дріт ЛП-Нп30Х5Г2СМ</p>
025	<p><u>Правильна</u></p>		<p>Стенд для правки колінчатих валів</p>
030	<p><u>Шліфувальна</u></p> <p>1. Встановити та закріпити</p> <p>2. шліфувати начерно поверхні 1, 2 до розмірів <math>\varnothing 75,2</math>, <math>\varnothing 63,7</math> мм згідно ескізу з використанням центрошліувача</p> <p>3. Шліфувати начисто</p> <p>4. Зняти деталь</p>		<p>1. Токарний верстат 16Б16КП</p>
035	<p><u>Шліфувальна</u></p> <p>1. Встановити та закріпити</p> <p>2. Шліфувати поверхні 1, 2 до розмірів <math>\varnothing 75,1^{+0.040}_{-0.075}</math>, <math>\varnothing 63,5 \text{H}0^{+0.12}</math></p>		<p>Шліфувальний верстат для шліфування колінчатих валів SLMC MQB260A</p>
040	<p><u>Контроль</u></p> <p>1. Установити деталь</p> <p>2. Контролювати розміри <math>\varnothing 75,1^{+0.040}_{-0.075}</math>, <math>\varnothing 63,5 \text{H}0^{+0.12}</math></p> <p>3. Зняти деталь</p>		<p>1. Контрольний стіл</p> <p>2. Мікрометр МН-75 ГОСТ 64318-80</p>

Рисунок 3.7 – Маршрут відновлення колінчатого валу

### 3.6 Розрахунок та призначення режимів відновлення поверхонь вала

#### 3.6.1 Вибір витратного матеріалу

Для наплавлення вала привідного, який виготовляється із сталі 40Х, ми використовуємо наплавочний дріт ПП-Нп30Х5Г2СМ ГОСТ 26101-84 (ПП-АН122), що відповідає EN 14700 TZFe3 (табл. 3.6), який вміщує легуючі елементи марганець, хром, молібден та кремній, діаметр дроту 2,6 мм. В таблиці 3.7 наведено хімічний склад наплавленого металу з твердістю 50...57 HRC.

Таблиця 3.6 – Хімічний склад наплавочного дроту ПП-Нп30Х5Г2СМ ГОСТ 26101-84

Марка дроту	C	Cr	Mn	Si	Mo	Ti
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	0,30-0,50	4,4-6,5	1,4-2,2	0,5-1,0	0,6-1,0	0,1-0,6

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

Таблиця 3.7 – Типовий хімічний склад наплавленого металу, %

C	Cr	Mn	Si	Mo	Ti	S	P
0,3 - 0,5	4,4 - 6,5	1,4 - 2,2	0,5 - 1,0	0,6 - 1,0	0,1 - 0,6	≤ 0,04	≤ 0,04

#### 3.6.2 Розрахунок та призначення режимів нанесення покриття

Розрахунок та призначення режимів нанесення покриття виконували згідно стандартних методик [5, 6,16, 31].

Таблиця 3.8 – Параметри режимів обробки поверхонь

№	Назва операції	d, мм	L, мм	S, мм/об ( $v_r$ , мм/с; $Y_{пр}$ , м/хв)	n, хв <sup>-1</sup> ( $\omega_{пер}$ , с <sup>-1</sup> ; $Y_{об}$ , м/хв)	i (n)	$n_{пер}$
015	Токарна верстат: 16К20Ф3	Ø 75; Ø65,5	58 мм; 32 мм	0,5	720; 680;	1	24
020	Наплавлювальна Установка з ЧПК	Ø 75; Ø65,5	58 мм; 32 мм	169 А; 26,8 В	7,7 м/год	1	24
025	Правильна: правильний прес для колінчастих валів	Ø 75; Ø65,5	58 мм; 32 мм	-	-	1	24
030	Шліфувальна: чернове, чистове: верстат <i>SJMC MQ8260A</i> ; круг 63С40П5СТ1К6	Ø 75; Ø65,5	58 мм; 32 мм	0,015	8	-	24
035	Шліфувальна остаточна верстат <i>SJMC MQ8260A</i> , круг 63С60П5СТ1К6	Ø 75; Ø65,5	58 мм; 32 мм	0,005	4	-	24
040	Слюсарна	-	-	-	-	-	24
045	Контрольна	-	-	-	-	-	24

## 3.6.3 Розрахунок параметрів наплавлення

Розрахуємо режими наплавлення поверхні 1 та 2, згідно [ 18, 23, 26, 28].

Данні розрахунку наведені у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Параметри режимів наплавлення поверхонь

Поверхні	Розрахункові значення	Прийняті значення
1	2	3
Поверхня: Ø75 <sup>(+0,07)</sup> <sub>(-0,04)</sub> мм, Ø65,5 <sup>(+0,07)</sup> <sub>(+0,04)</sub>		
діаметр електродного дроту	$d_e=2,6\text{мм};$	2,6 мм
величина струму наплавлення	$I_H = 40 \cdot \sqrt[3]{D_d}, = 40 \cdot \sqrt[3]{75} = 169 \text{ (А)}.$	169 А
напруга	$U= 21+0,004 \cdot I_H=21+0,004 \cdot 169=26,8\text{В}$	U=27В
коефіцієнт наплавлення	$\alpha_H = 2,3 + 0,065 \frac{I_H}{d_e}, = 2,3 + 0,065 \frac{169}{1,2} = 11,4 \text{ г/А год},$	11,4 г/А × год.

Продовження табл.3.9		
1	2	3
швидкість подачі електродного дроту	$v_e = \frac{4 \cdot 12,7 \cdot 169}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,85} = 242 \text{ (м/год)}$	242 м/год.
коефіцієнт розплавлення	$\alpha_p = \frac{\alpha_n}{\eta} = \frac{10,2}{0,8} = 12,7$	12,7 г/А×год.
виліт електродного дроту	$H = (10 - 15) d_e = (10 - 15) 2,6 = 26 \text{ мм}$	26 мм
зміщення електроду від зеніту	$a = (0,05 - 0,07) D_{\text{д.}} = (0,05 \dots 0,07) 75 = 2,5 \text{ мм}$	2,5 мм
крок наплавлення	$S_H = (2 - 2,5) d_e = (2 \dots 2,5) 2,6 = 2,5 \text{ мм}$	5,5 мм
швидкість наплавлення	$v_h = \frac{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 242}{4 \cdot 2,5 \cdot 12} 0,85 = 7,7 \text{ (м/год)}$	7,7 м/год
товщина наплавленого шару:	$h_n = 2 \text{ мм,}$	2 мм
частоту обертання деталі	$n = 5,31 \frac{v_H}{D_d} = 5,31 \frac{7,7}{75} = 0,54 \text{ хв}^{-1}$	0,54 хв <sup>-1</sup>
кількість проходів	$n = \frac{h_H}{S_H} = \frac{2}{2} = 1$	1 прохід

### 3.6.4 Експертне визначення режимів наплавлення

Для експертного визначення режимів наплавлення використовується експертна програма «Навлавка», яка запропонована експертами інституту електрозварювання ім. Ю.Є. Патона.

Для реалізації цієї програми на першому етапі задаємо формою наплавляємої деталі на рис. 3.8 – 3.11 показані скріншоти програми з групою деталей, що наплавляються.



Рисунок 3.8 – Вибір групи деталей і форми наплавляємої поверхні

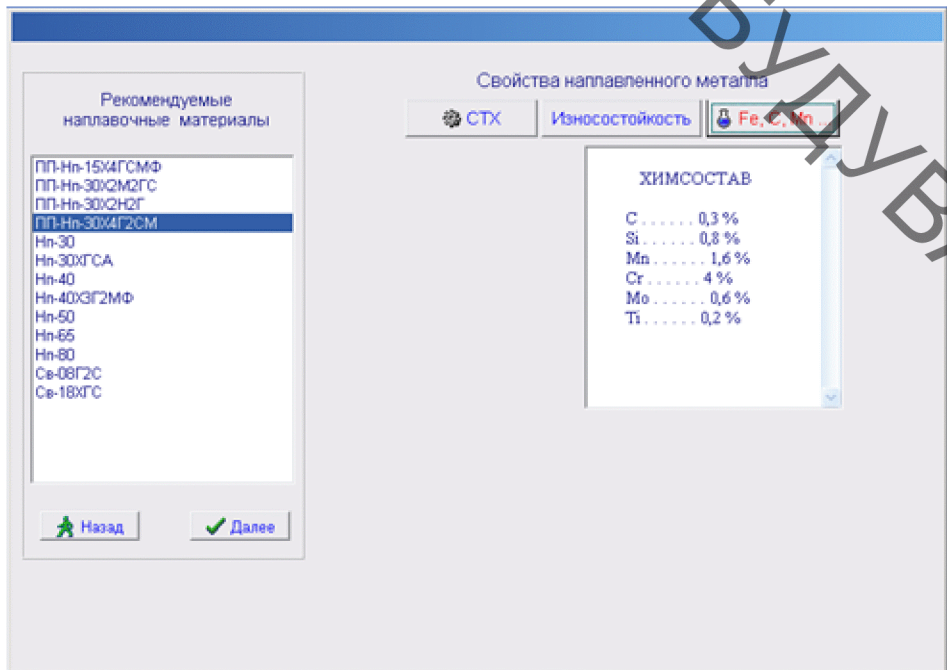


Рисунок 3.9 – Рекомендований матеріал програмою «Наплавка»

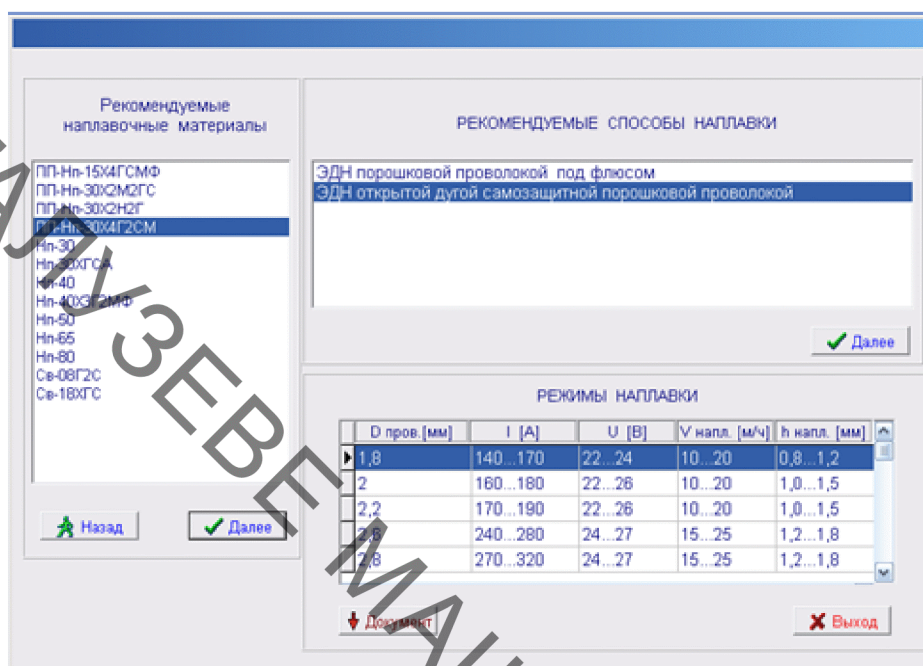


Рисунок 3.10 – Рекомендовані способи наплавлення

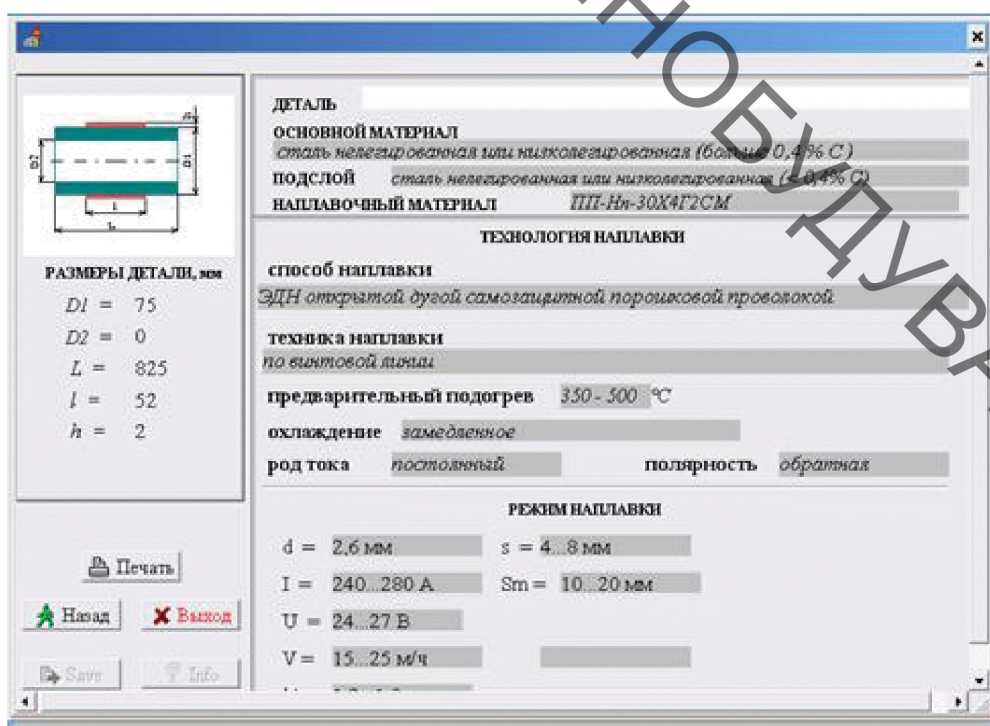


Рисунок 3.11 – Рекомендовані режими наплавлення програмою «Наплавка»

Проведені розрахунки за допомогою експертної програми «Наплавка» підтвердили вибір наплавлявального дроту та розрахунки режимів наплавки, що забезпечуть високу продуктивність відновлення і зменшать трудомісткість та витрати часу на відновлення колінчастого валу

### 3.7 Нормування операцій технологічного процесу

Норми часу за розрахунково-аналітичним методом визначаються за методикою наведеною: [ 8, 30]. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Нормування операцій

Номер і назва операції	$T_o$	$T_{доп}$	$T_{оп}$	$T_{обс}+T_{вип}$	$T_{шт}$	$T_{п-з}$	$T_{шт-к}$
005 Мигтя	2.2	0.880	3.080	0.185	3.265	10	3.865
010 Дефектувальна	3.45	1.380	4.830	0.290	5.120	15	6.020
015 Токарна	2.6	1.040	3.640	0.218	3.858	18	4.548
020 Наплавочна	16.4	2.560	18.960	0.538	19.498	8	19.978
025 Правильна	8	3.200	11.2	0.672	11.872	15	12.772
030 Шліфувальна	2.7	1.080	3.780	0.227	4.007	15	4.907
– чорнова							
– чистова	2.7	1.080	3.780	0.227	4.007	15	4.907
035 Шліф. остаточна	2.6	1.040	3.640	0.218	3.858	5	4.158
040 Контрольна	3.55	1.420	4.970	0.298	5.268	5	5.568

### 3.8 Створення конструктивної схеми верстата та її опис

Розробимо конструктивну схему установки. З'ясуємо, з яких основних компонентів має складатися установка для автоматизованого відновлення деталі.

Основними елементами конструктивної схеми є електромотор з внутрішнім контролером 5 який передає свій крутний момент через поворотний модуль 7 з осевим приводом 3 на редуктор 4.

Враховуючи те, що вал має довжину 875 мм, діаметр 230 мм, розташуємо його в горизонтальному положенні (рисунок 3.12). Застосуємо закріплювальний пристрій у вигляді патрона 6, зовнішнім діаметром 200 мм марка патрону ВВ210 та задню бабку 8. Вся ця конструкція зафіксована болтовими з'єднаннями 9,10,11 та гвинтами 12 на платформі 2.



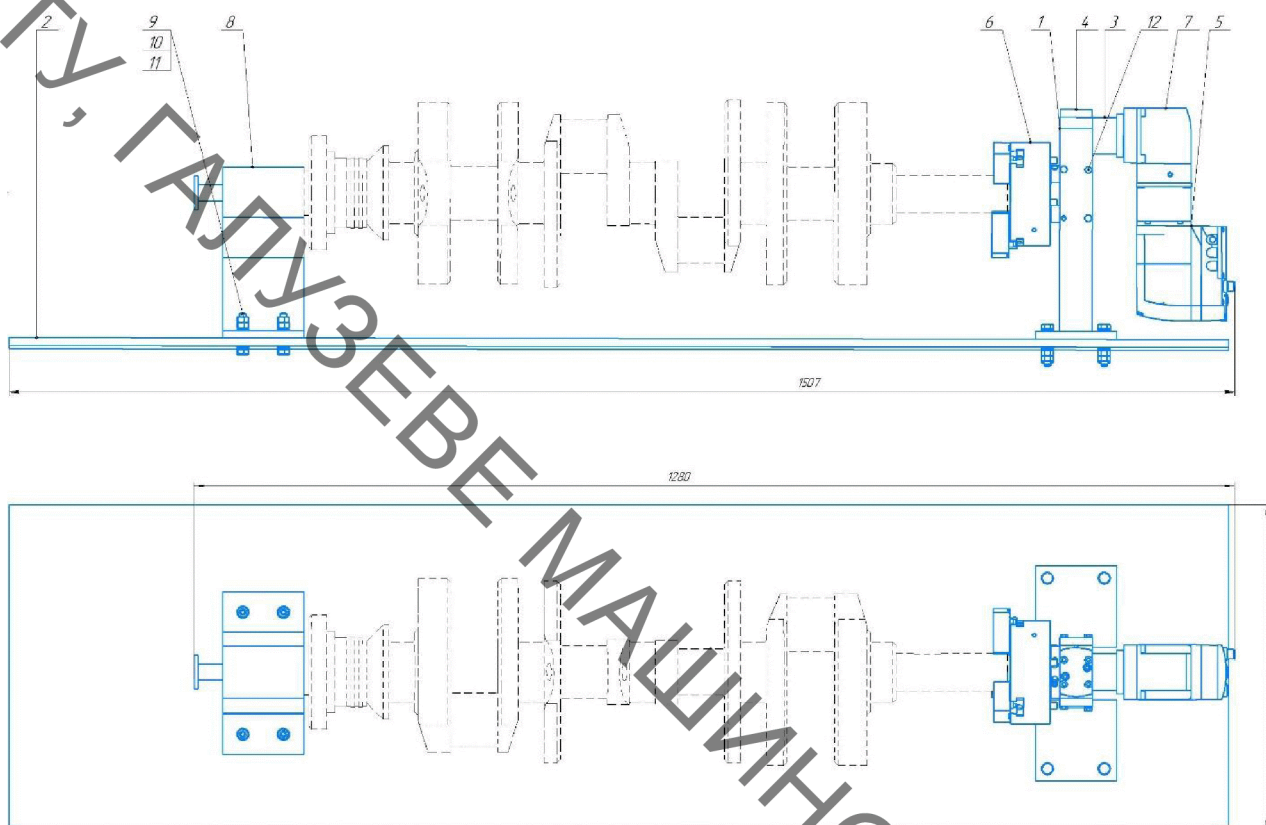


Рисунок 3.12 – Обертач

1 –кріплення, 2 –платформа для установки, 3 –осьовий привід, 4 – редуктор, 5 – сервопривід, 6 – патрон кулачковий, 7 – поворотний модуль, 8- задня бабка,9,10,11-болтове з'єднання,12-гвинти.

Знаючи конструкцію вузла та спосіб закріплення, можна визначити електромотор, який буде здатний обертати рухомі деталі.

Для вибору електромотора треба розрахувати масоцентрувальні характеристики всіх тіл, які обертаються в процесі відновлення деталі.

### 3.9 Розрахунок масоцентрувальних характеристик (МЦХ) деталі

Для визначення масоцентрувальних характеристик розробимо 3D-модель деталі, що обертається (рисунок 3.13)

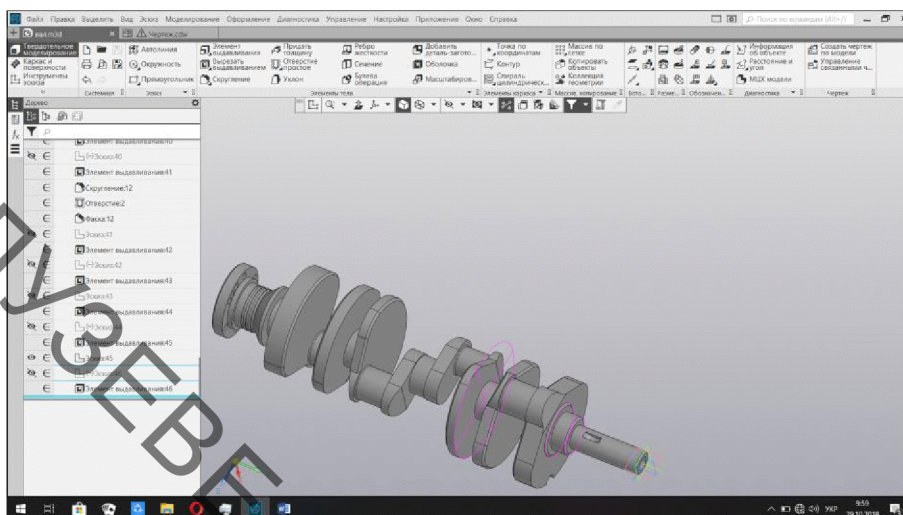


Рисунок 3.13 – 3D-модель усіх деталей, що обертаються в процесі відновлення

В програмі Компас визначимо масоцентрувальні характеристики.  
Матеріал Сталь 45 ГОСТ 1050–88.

МЦХ моделі

Деталь

Заданные параметри

Матеріал тел Сталь 45 ГОСТ 1050–88.

Плотність матеріалу тел  $\rho_0 = 7810 \text{ кг/м}^3$

Розраховані параметри (тіла і компоненти)

Маса  $M = 64,120 \text{ кг}$

Площа  $S = 0,694107 \text{ м}^2$

Об'єм  $V = 0,008210044 \text{ м}^3$

Центр мас  $X_c = 0.000150865 \text{ м}$

$Y_c = -0,476240616 \text{ м}$

$Z_c = 0.000311781 \text{ м}$

Моменти інерції

В абсолютній системі координат:

Осьові моменти інерції  $J_x = 17.982311 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

$J_y = 0.279541 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

$J_z = 17.975793 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

### 3.10 Розрахунок та вибір виконавчих механізмів установки для автоматизованого відновлення деталей

Для розрахунку привода обертання застосуємо програму Positioning drives компанії Festo. Вихідними даними для розрахунку привода обертання є момент інерції тіл, які треба обертати (в нашому випадку становить  $J_y=0.279541 \text{ кг}\cdot\text{см}^2$  додаткові сили, які є гальмівними або прискорювальними (в нашому випадку відсутні). Тип привода – сервопривід змінного струму, включно з вбудованими гальмами та варіантами з редуктором. Монтажне розташування – вертикальне.

В результаті розрахунку отримано такий результат (рисунок 3.14)

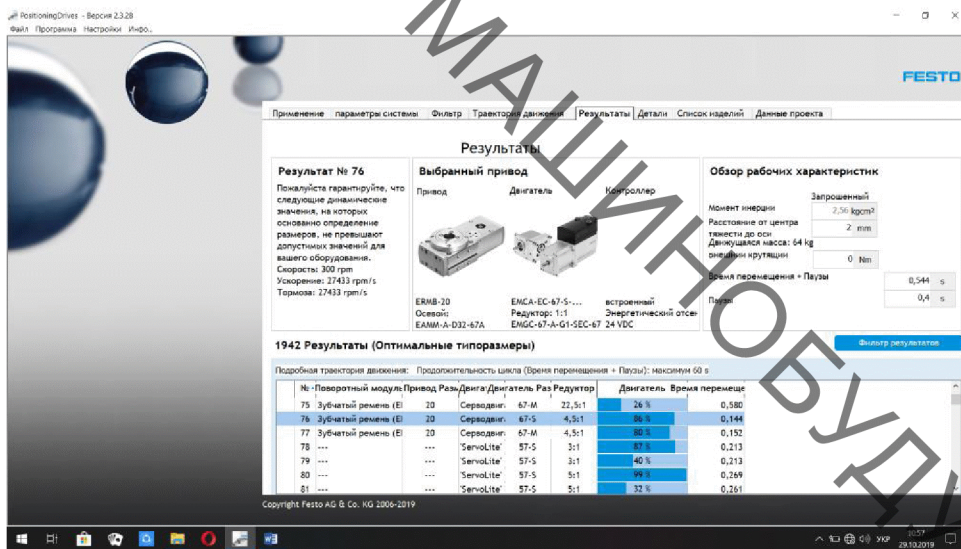


Рисунок 3.14 – Вибір двигуна обертача

Замовимо на сайті [FESTO.COM.UA](http://FESTO.COM.UA) 3D-модель вибраного привода обертання в форматі sat, який розпізнає програма «Компас».

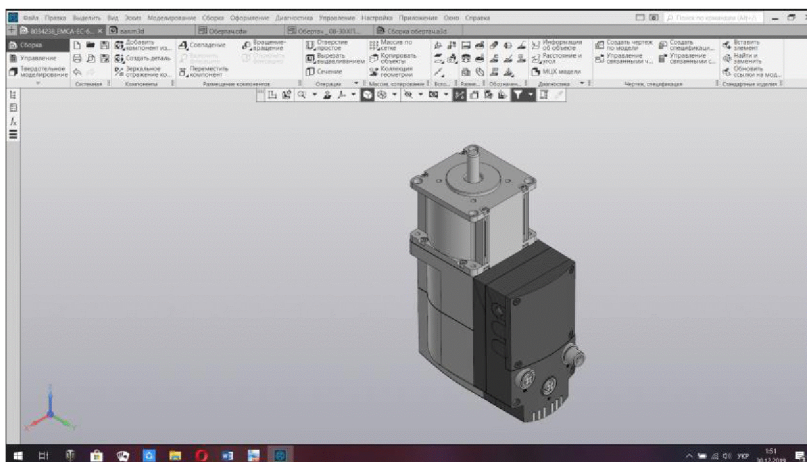


Рисунок 3.15 – 3D-модель сервомотора EMCA-EC-67-S

Спроекуємо вузол обертання. Для цього необхідно з'єднати сервомотор з валом шпинделя та закріпити підшипниковий вузол шпинделя і сервомотор на одній платформі. Спочатку на сайті Festo.com.ua вибираємо осьовий набір, який знаходиться у розділі «Приладдя» відповідної сторінки сайту Festo (рисунок 3.16).

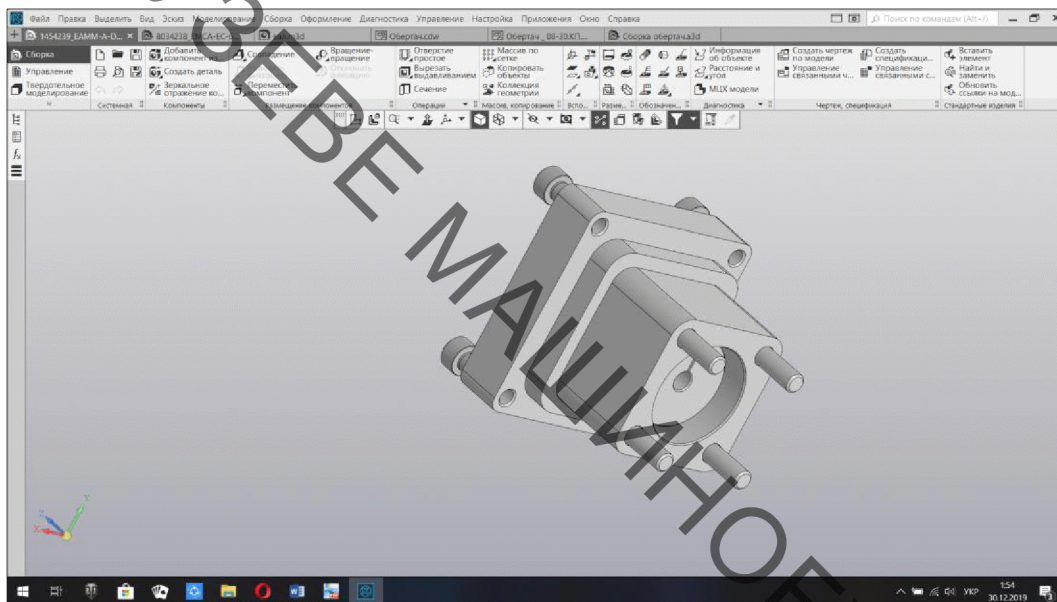


Рисунок 3.16– Осьовий набір EAMM-A-D32-67A

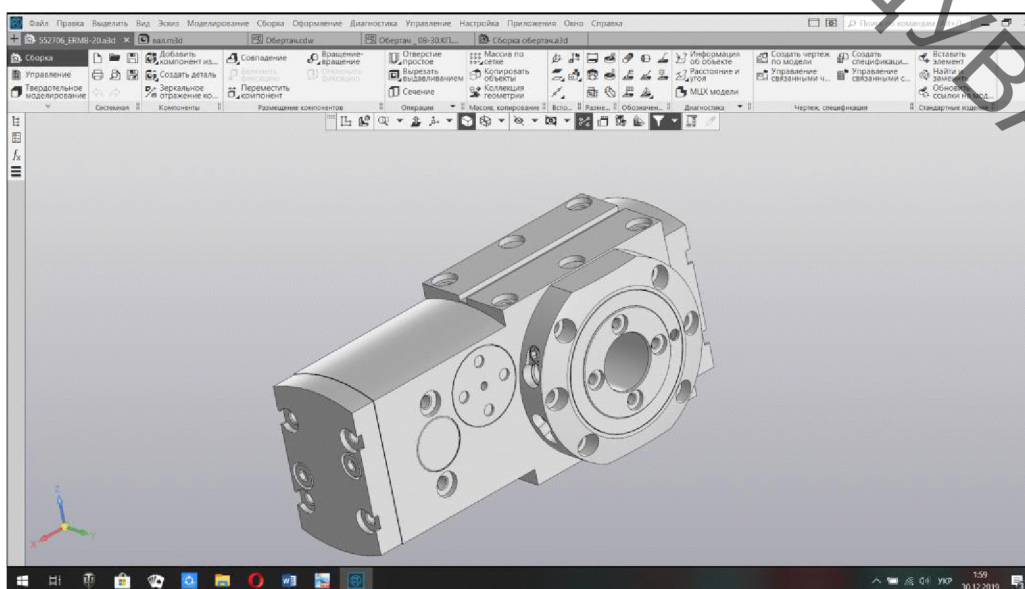


Рисунок 3.17– Редуктор EMGC-67-A-G1-SEC-67

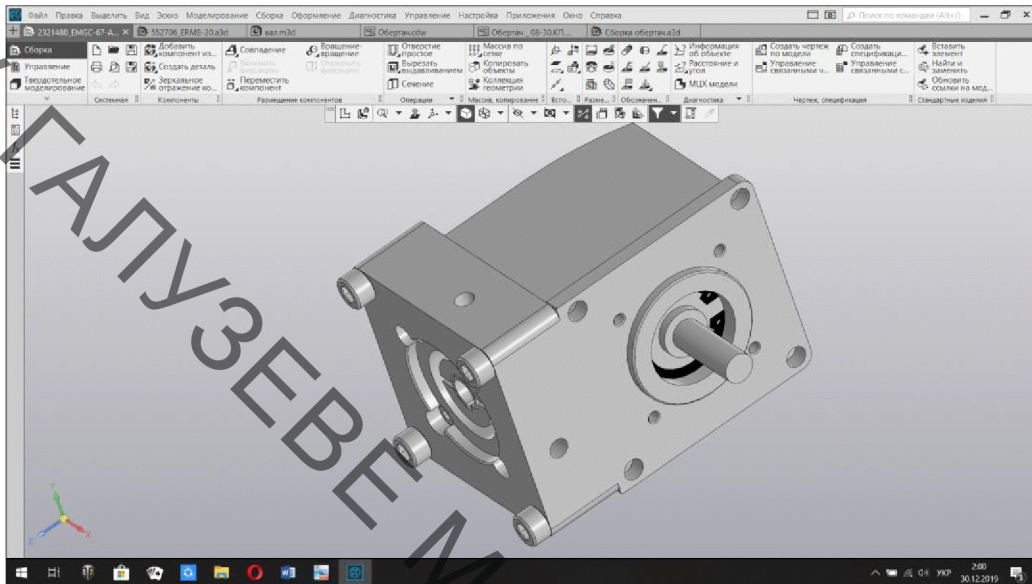


Рисунок 3.18– Поворотний модуль ERMB-20

Згідно з рисунком 3.14 розробимо 3D-модель обертача (рисунок 3.19). Для чого спочатку розробимо 3D-модель вузла та з'єднаємо з ним вибраний сервомотор і осьовий набір та редуктор, поворотний модуль (рисунки 3.15 3.16; 3.17; 3.18).

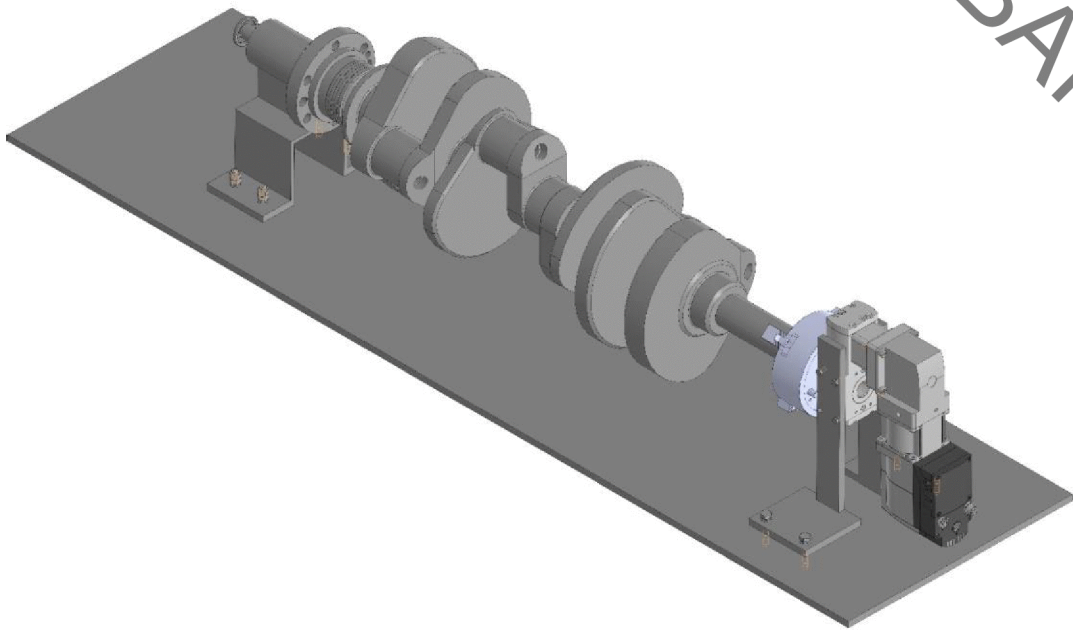


Рисунок 3.19– Обертач складений

### 3.11 Розрахунок маси головки для наплавлення

На рисунку (рис. 3.20) показана наплавлювальна головка для наплавлення в середовищі захисних газів порошковим дротом

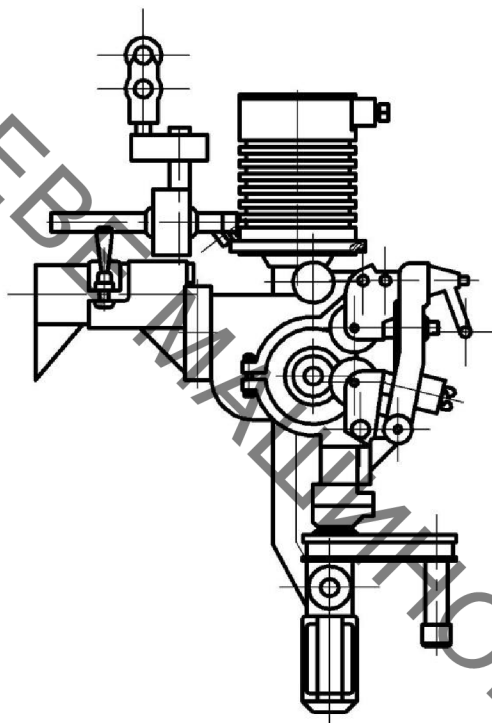


Рисунок 3.20 – Схема головки для наплавлення

Порахуємо засобами САПР Компас масу наплавлювальної головки.

Площа  $S = 130267 \text{ мм}^2$

Об'єм  $V = 1256178 \text{ мм}^3$

Маса  $M = 9,8 \text{ кг}$

Центр мас  $X_c = 3 \text{ мм}, Y_c = 0 \text{ мм}, Z_c = 0 \text{ мм}$

Вертикальне переміщення наплавлювальної головки дає можливість змінювати відстань до відновлюваної поверхні при відновленні складних поверхонь. Особливо це важливо при відновленні ступінчастих поверхонь та валів різних діаметрів де зміна відстані є технологічно необхідною. Таке регулювання здійснюється спеціальним консольним приводом переміщення на якому закріплюється наплавлювальна головка.

Вихідними даними для розрахунку консольного привода є маса наплавлювальної головки, яка становить 9,8 кг, маса приєднаних комунікацій, становить приблизно 0,5 кг, відстань на яку необхідно переміщувати наплавлювальну головку - 850 мм з запасом для можливості відновлення

більшої номенклатури деталей. Для вибору консольного двигуна застосуємо програму FESTO Positioning drives.

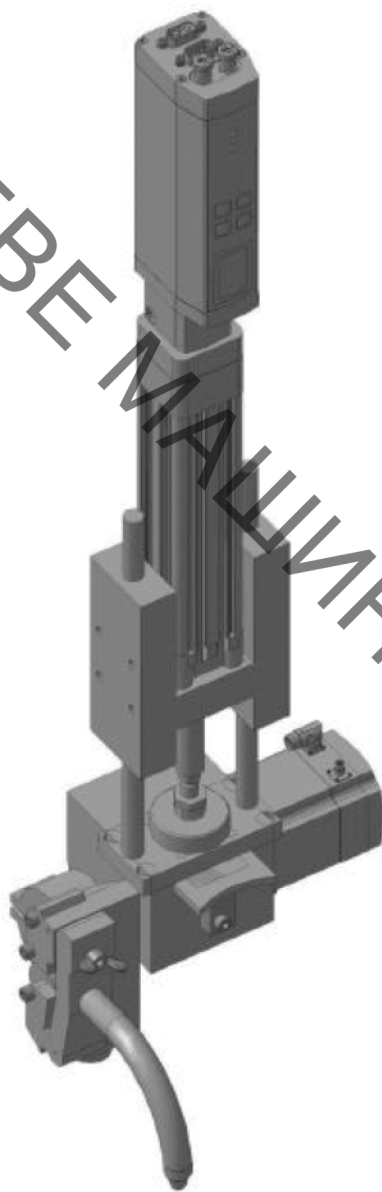


Рисунок 3.21 – Консольний привід в зборі з наплавлювальною головкою

Привід горизонтального переміщення вибирається з урахуванням маси консольного приводу в зборі (11 кг) та відстані на яку необхідно перемістити головку (вибираємо відстань з певним запасом 900 мм) За допомогою програми Festo positioning drives вибираємо відповідний лінійний двигун та додаткові вузли які входять у комплект лінійного приводу та скачаємо 3D модель приводу та всіх додаткових компонентів з сайту Festo.

### 3.12 Розробка установки з числовим програмним керуванням

Поєднаємо обертач, механізм горизонтального і вертикального переміщення в одну функціональну установку.

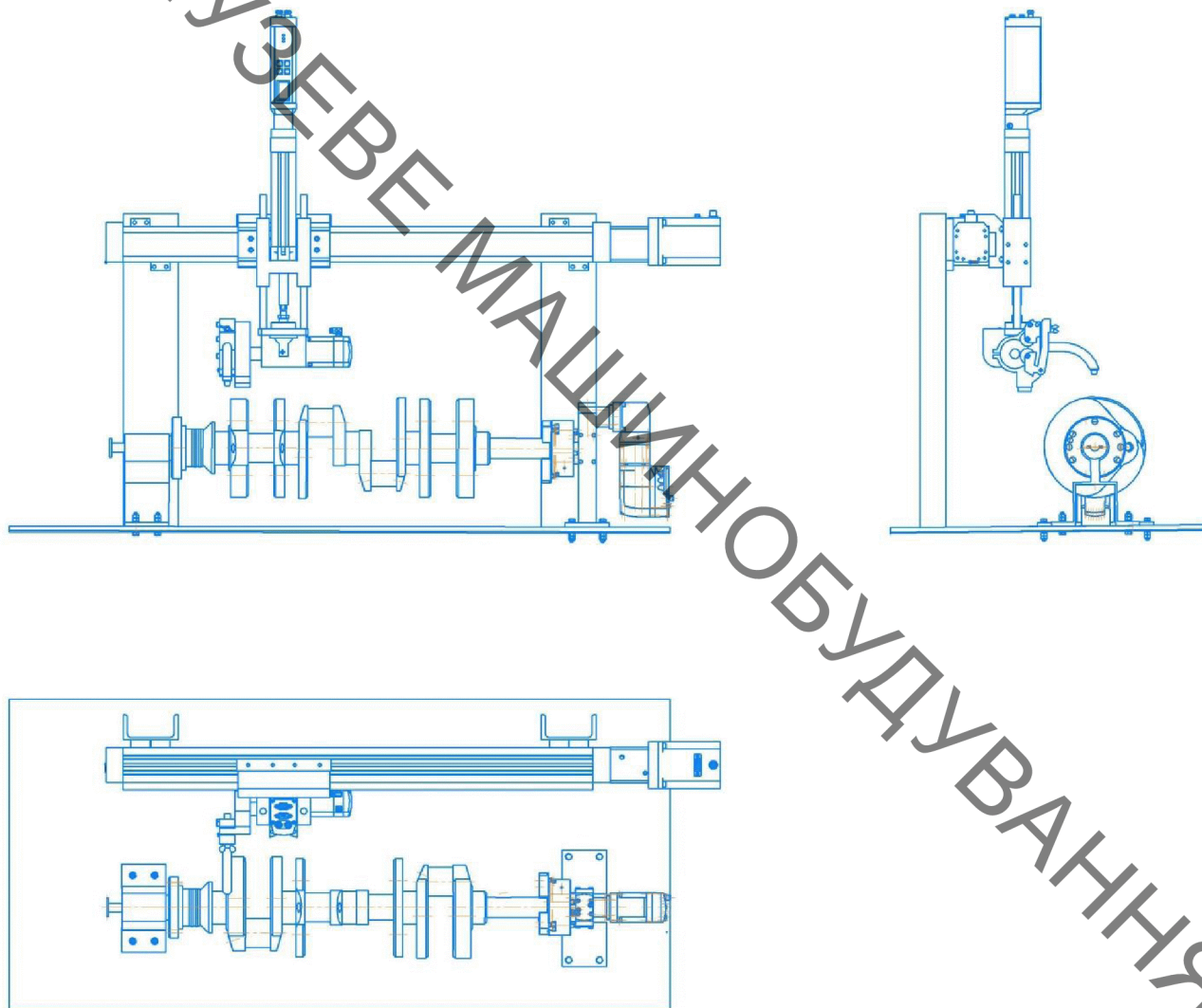


Рисунок 3.22 – Установка з числовим програмним керуванням

Наступним кроком є створення рамної конструкції яка забезпечить задане взаємне розташування всіх механізмів. Для створення рамної конструкції використаємо профільний металопрокат, а саме швелер ГОСТ 8240-79 №10 №14. Конструкція рами зварна. Зварювання електродугове за ГОСТ 5264-80.



### 3.13 Розробка робочого місця

Виробничі приміщення цеху, в яких розміщуються наплавлювальні дільниці побудовані з вогнестійких матеріалів і розташовані в окремих кабінах або відокремлені ширмами.

Підлога у приміщеннях виконана з негорючих матеріалів. На робочих місцях під ногами дерев'яні ґрати або гумові килимки.

В якості освітлення використовуються газорозрядні лампи. В приміщенні також використовується освітлення через вікна.

До роботи з устаткуванням допускається персонал, що має право роботи з електроінструментом і стисненим повітрям (кваліфікаційна група по ТБ не нижче 3) і такі, що пройшли навчання правилам і прийомам роботи.

Для забезпечення пилезахисту персоналу і навколишнього середовища при роботі з устаткуванням у закритих приміщеннях робочі місця з відсосом запиленого повітря з робочої зони, де відбувається відновлення поверхонь, і наступним його очищенням.

Пилезахищена камера забезпечує можливість розміщення в ній оброблюваних виробів за умови доступу до нього мундштука головки для наплавлення. Персонал захищений індивідуальними засобами пилезахисту (окуляри, респіратор).

Витяжний вентилятор забезпечує ефективний відбір запиленого повітря із системи "пилезахищена камера – фільтр – повітрепроводи". Продуктивність вентилятора, навантаженого на фільтр, повинна бути не менш 2 куб.м\хв.

Робоче місце складається з установки з числовим програмним керуванням, яка встановлена у захисному боксі. В боксі встановлено механізм подачі дроту, який подає дріт до головки. Бокс оснащено приточно- витяжною вентиляцією. Електроживлення головки здійснюється від джерела живлення. Керування установкою здійснюється від комп'ютера та контролерів. Захисний газ подається від балона. Шинопровід забезпечує підвід всіх комунікацій до виконавчих механізмів.

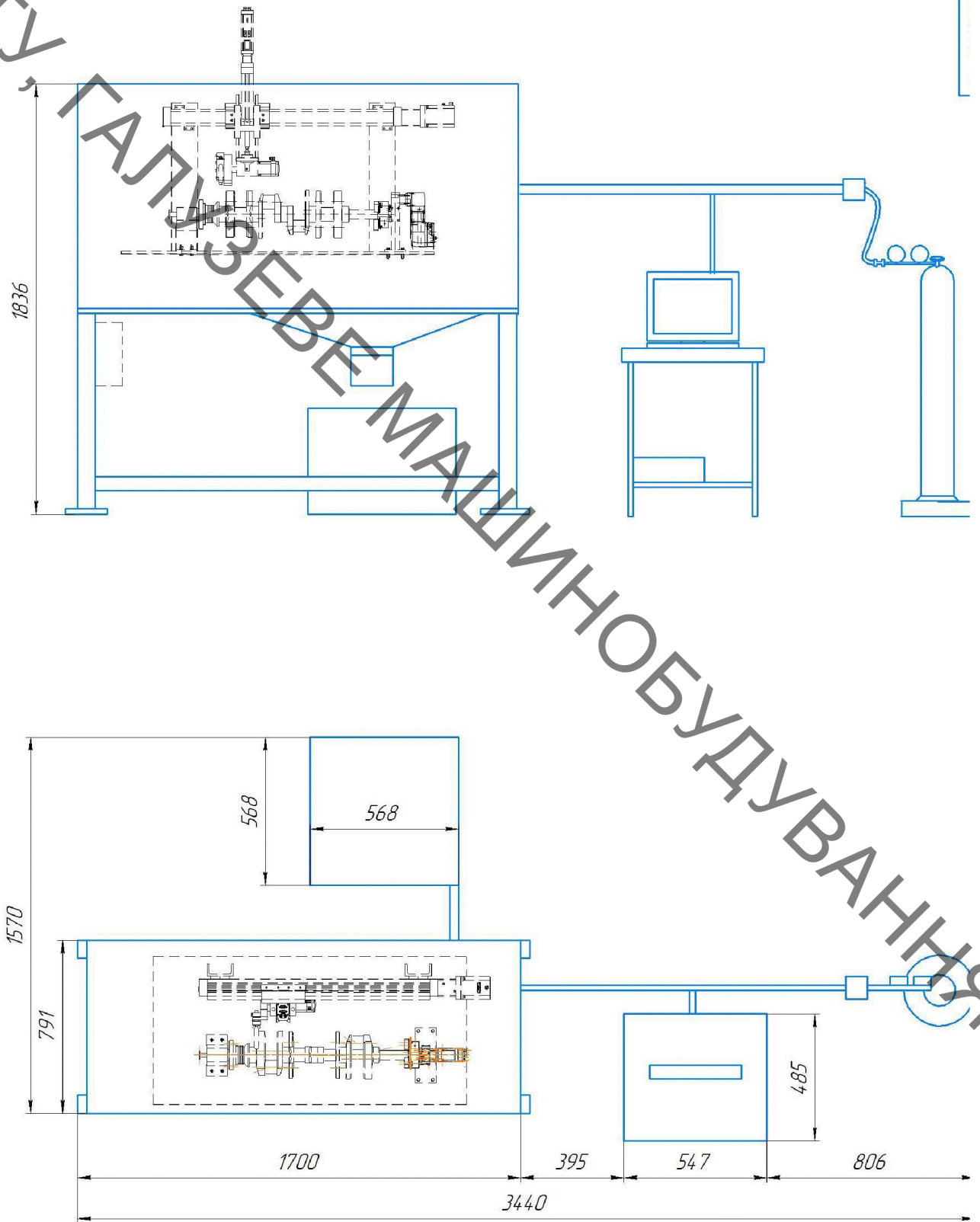


Рисунок 3.23 – Робоче місце

### 3.14 Висновки до третього розділу

Проведений аналіз існуючих технологічних процесів відновлення колінчатого валу показав, що в процесі відновлення в одному технологічному циклі в різній послідовності виконується операції нагріву, деформації і охолодження деталі.

В результаті роботи валу виникає пошкодження шийок під підшипники та зношування шатунних шийок. Середній знос 0,15-0,25 мм, що вимагає відновлення до номінального або ремонтного розміру.

На основі проведення дефектування деталі розроблено технологічний процес відновлення зношених поверхонь колінчатого валу, визначенно кількість переходів, припуски та розрахунок режимів механічної обробки; режимів наплавлення на робочі поверхні.

Обґрунтовано обладнання для реалізації технологічного процесу.

Проведені розрахунки режимів наплавлення аналітичним методом відповідають рекомендаціям експертної програми «Наплавка» і підтвердили вибір наплавлювального дроту та розрахунки, які забезпечують високу продуктивність відновлення і зменшують трудомісткість та витрати часу.

Розроблена установка з числовим програмним керуванням на базі вузлів компанії «Festo», дозволяє проводити відновлення поверхонь колінчатого валу.

Для реалізації процесу відновлення розроблено технічну документацію.

Креслення деталі, ремонтне креслення та маршрутна карта технологічного процесу виконані за допомогою програми КОМПАС 3D.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічна частина є завершальним розділом магістерської дипломної роботи, в якому розробляються остаточні висновки щодо економічної ефективності запропонованої розробки. В даному розділі розглянемо основні питання конкурентоспроможності продукту та комерційного потенціалу розробки.

### 4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності, тобто під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи. [10, 11, 12]

Для проведення комерційного і технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть провідні викладачі випускової та споріднених кафедр.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу будемо здійснювати за 12-а критеріями згідно рекомендацій.

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали, виставлені експертами		
Технічна здійсненність концепції	4	3	4
Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	3	3
Ринкові переваги (ціна продукту)	4	4	3
Ринкові переваги (технічні властивості)	3	3	4
Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	4	3
Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	4	4
Ринкові перспективи (конкуренція)	3	4	3
Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	3	3
Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	4	4
Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	3	4
Практична здійсненність (термін реалізації)	3	3	3

Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	41	41	41
Середньоарифметична сума балів $\overline{CB}$	41		

За даними таблиці 4.1 робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 50	Високий

Оскільки середньоарифметична сума балів складає 41, то рівень комерційного потенціалу розробки високий, тому дана розробка є реальною для подальшої її реалізації та впровадження.

Можливі декілька шляхів реалізації розробки.

Колінчасті вали є складними за конструкцією, важконавантажені та дорогі деталі. Колінчасті вали працюють в умовах знакозмінних навантажень. Основними причинами вибракування колінчастих валів є абразивне зношування шийок та втомні поломки в області галтелей, а саме у пригалтельних зонах шийок. В процесі експлуатації абразивний знос шийок та вкладишів призводить до не співвісності опор, що в свою чергу прискорює абразивне стирання і різко (на 25...30%) знижує опір втомленості валів.

При наплавленні колінчастих валів у більшості випадків застосовують відомі способи зварювання. Спеціальні властивості наплавленого металу забезпечуються за рахунок легування, тобто введення в його склад відповідних елементів у потрібній кількості [13].

Найбільш розповсюдженим є легування наплавленого металу за рахунок введення в зону дуги (зварювальну ванну) металів, сплавів і металоподібних сполук у вигляді різних карбідів і інтерметалідів.

## 4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

### 4.2.1 Витрати на оплату праці

#### Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників розраховують відповідно до посадових окладів працівників, за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.1)$$

де  $M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.;

$T_p$  – середня кількість робочих днів в місяці,  $T_p \approx 21 \dots 23$  дні;

$t_i$  – кількість днів роботи конкретного дослідника.

Дану розробку буде проводити інженер, величина окладу буде становити 10000 грн. на місяць. Кількість робочих днів у місяці складає 23, а кількість робочих днів дослідника складає 55.

Зведемо сумарні розрахунки до таблиця 4.3.

Таблиця 4.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Кількість днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	12000	521,73	5	2608,65
Інженер	10000	434,78	55	23912,9
Всього				26521,55

Розрахуємо заробітну плату працівників, які беруть участь у виконанні НДР і виконують роботи за робочими професіями.

Основна заробітна плата робітників  $Z_p$ , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.2)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год.;

$t_i$  – час роботи робітника на виконання певної роботи, год.

Погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду визначається за формулою :

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_C}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.3)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи або мінімальної місячної заробітної плати (залежно від діючого законодавства), грн. (розмір мінімальної зарплати в 2021 році складає 6000 грн. в місяць);

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (таблиця 4.4);

$K_C$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати;

$T_p$  – середня кількість робочих днів в місяці; приблизно  $T_p \approx 21 \dots 23$  дні;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

Таблиця 4.4 – Міжкваліфікаційні співвідношення для встановлення тарифних ставок робітникам

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_i$	1,00	1,1	1,35	1,5	1,7	2,0	2,2	2,4

Зроблені розрахунки занесемо у таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н-год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Величина оплати, грн.
Заготівельні	2	2	38,85	77,7
Механічні	3	3	47,68	143,04
Складальні	1	4	52,98	52,98
Налагоджувальні	2	4	60,04	120,08
Всього				393,8

Розрахунок додаткової заробітної плати робітників

Додаткова заробітна плата  $Z_d$  розраховується як 10-12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{N_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.4)$$

де  $N_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати.

На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 10% від основної заробітної плати.

$$Z_d = 0,10 \cdot (26521,55 + 393,8) = 2691,53(\text{грн.})$$

#### 4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату  $N_{\text{зп}}$  дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (3.5):

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{N_{\text{зп}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де  $N_{\text{зп}}$  – норма нарахування на заробітну плату.

Дана діяльність відноситься до бюджетної сфери, тому ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування буде складати 22%, тоді:

$$N_{\text{зп}} = (26521,55 + 393,8 + 2691,53) \cdot \frac{22}{100} = 6513,51(\text{грн.})$$

Отже, нарахування на заробітну плату складають 6513,51 грн.

#### 4.2.3 Сировина та матеріали

Витрати на матеріали у вартісному вираженні розраховуються окремо для кожного виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (4.6)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;



$n$  – кількість видів матеріалів.

$\text{Ц}_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  - коефіцієнт транспортних витрат, (1,1...1,15);

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$\text{Ц}_{вj}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

Розрахунки зведемо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали.

Найменування матеріалу	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Флюс БС-2	18,50	0,03	-	-	0,55
Припій ПОС-61	500	0,04	-	-	20
Склотекстоліт	98	0,1	-	-	9,8
Каніфоль	11,0	0,25	-	-	2,75
Всього					36,41

#### 4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі, які використовують при дослідженні нового технічного рішення, розраховуються, згідно з їхньою номенклатурою за формулою:

$$K_B = \sum_{j=1}^n H_j \cdot \text{Ц}_j \cdot K_j, \quad (4.7)$$

де  $H_j$  – кількість комплектуючих  $j$ -го виду, шт.;

$\text{Ц}_j$  – покупна ціна комплектуючих  $j$ -го виду, грн;

$K_j$  - коефіцієнт транспортних витрат, (1,1...1,15);

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Разом
Поворотний модуль	1	41803	41803
Редуктор	1	9678	9678
Контролер	1	4859	4859
Мотор	2	2500	5000
Осьовий модуль	1	3742	3742
Всього			71590,2

#### 4.2.5 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщення

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}} \cdot t_{\text{вик}}}{T_{\text{в}} \cdot 12}, \quad (4.8)$$

де  $Ц_{\text{б}}$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн.;

$t_{\text{вик}}$  – термін корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців.

$T_{\text{в}}$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Офісне приміщення	95000	15	3	1583,33
Виробниче приміщення	275000	15	2	3055,55
Комп'ютер	15000	5	5	1500
Всього				6138,88

#### 4.2.6 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{впі}}}{\eta_i}, \quad (4.9)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн;

$K_{\text{впі}}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Комп'ютер	0,5	70	126
Освітлення приміщення	0,6	50	108
Паяльна станція	0,2	20	14,4
Всього			248,4

#### 4.2.7 Службові відрядження

Витрати на службові відрядження розраховуються як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$V_{\text{св}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{св}}}{100\%}, \quad (4.10)$$

де  $H_{\text{св}}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження».

$$V_{\text{св}} = 0,25 \cdot (26521,55 + 393,8) = 6728,83 \text{ (грн.)}$$

#### 4.2.8 Інші витрати

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$V_{\text{ін}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{ін}}}{100\%}, \quad (4.11)$$

де  $H_{\text{ін}}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$V_{\text{ін}} = 0,5 \cdot (26521,55 + 393,8) = 13457,67 \text{ (грн.)}$$

#### 4.2.9 Накладні (загальновиробничі) витрати

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{\text{НЗВ}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{НЗВ}}}{100\%}, \quad (4.12)$$

де  $H_{\text{НЗВ}}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$B_{\text{НЗВ}} = 1 \cdot (26521,55 + 393,8) = 26915,3 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи розраховуються як сума всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B = Z_o + Z_p + Z_d + Z_n + M + K + A_{\text{обл}} + B_e + B_{\text{св}} + I_B + B_{\text{НЗВ}}, \quad (4.13)$$

$$B = 26521,55 + 393,8 + 2691,53 + 6513,51 + 36,41 + 71590,2 + 6138,88 + 248,4 + 6728,83 + 13457,67 + 26915,3 = 161199,67 \text{ (грн)}$$

Загальні витрати на завершення науково-дослідної роботи та оформлення її результатів розраховуються за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (4.14)$$

Загальні витрати складають

$$ЗВ = \frac{161199,67}{0,9} = 179110,74 \text{ (грн.)}$$

#### 4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

Розрахуємо можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки за формулою:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (4.15)$$

де  $\pm\Delta C_0$  – зміна основного якісного показника від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізованому році;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає величину попиту на аналогічні чи подібні розробки у році до впровадження результатів нової науково-технічної діяльності;

$C_0$  – основний якісний показник, який визначає ціну реалізації нової науково-технічної розробки в аналізованому році;

$\Delta N$  – зміна основного кількісного показника від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізованому році;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту (послуги), рекомендується приймати 0,2...0,5;

$\vartheta$  – ставка податку на прибуток.

В середньому в рік продається 1000 розробок. Середня вартість такої розробки становить 3960 грн.

Впровадження зразка розробки дозволяє збільшити ціну кожного зразка на 500 грн, враховуючи ціни конкурентів. Також прогнозується, що попит на даний продукт зросте, оскільки даний продукт відрізняється якістю від конкурентних.

Попит збільшиться за перший рік на 500 примірників, за наступний на 400 та протягом третього року – ще на 250 примірників.

Ставка податку на додану вартість в 2021 році залишилась на рівні 20%, а коефіцієнт  $\lambda=0,8333$ . Ставка податку на прибуток складає 18%.

Коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту, дорівнює 0,3.

Отже, розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства на 2022 - 2024 рр.:

$$\Delta\P_{2022} = (1000 \cdot 3960 + (3960 + 500) \cdot 500) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1217651,29 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\P_{2023} = (1000 \cdot 3960 + (3960 + 500) \cdot (500 + 400)) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1542358,3 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\P_{2024} = (1000 \cdot 3960 + (3960 + 500) \cdot (500 + 400 + 250)) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1745300,19 \text{ (грн.)}$$

Далі розрахуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків  $\Pi_i$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PP = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta \Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (4.16)$$

де  $\Delta \Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

$T$  – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні;

$t$  – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$PP = \frac{1217651,29}{(1+0,1)^2} + \frac{1542358,3}{(1+0,1)^3} + \frac{1745300,19}{(1+0,1)^4} = 3357183,51 \text{ (грн.)}$$

Далі розрахуємо величину початкових інвестицій, які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{\text{інв}} \cdot ZB, \quad (4.17)$$

де  $k_{\text{інв}}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науко-во-технічної розробки та її комерціалізацію.

$ZB$  – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 4 \cdot 179110,74 = 716442,96 \text{ (грн)}$$

Тоді абсолютний економічний ефект або чистий приведений дохід для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = PP - PV, \quad (4.18)$$

де  $PP$  – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, грн;  
 $PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, грн.

$$E_{abc} = (3357183,51 - 716442,96) = 2640740,55 \text{ (грн.)}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій, які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки, розраховується за формулою:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.19)$$

де  $E_{abc}$  – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, грн;

$T_{ж}$  – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, роки.

$$E_B = \sqrt[3]{1 + \frac{2640740,55}{716442,96}} - 1 = 0,67 = 67\%$$

Далі визначимо бар'єрну ставку дисконтування, тобто мінімальну внутрішню економічну дохідність інвестицій, нижче якої кошти у впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію вкладатися не будуть.

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій визначається за формулою:

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.20)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій.

$$\tau = 0,12 + 0,05 = 0,17$$

Далі розрахуємо період окупності інвестицій, які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_v}, \quad (4.21)$$

де  $E_v$  – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = \frac{1}{0,67} = 1,49 \text{ роки}$$

Термін окупності складає 1,49 роки, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження цієї розробки та виведення її на ринок.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1. Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

#### 5.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

В процесі роботи на ділянці вдосконалення технології та оснащення для забезпечення якості поверхонь колінчастих валів виникають наступні шкідливі виробничі фактори [43].

При роботі виникає ряд фізичних, хімічних, психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

1. Зміна мікроклімату робочої зони.
2. Підвищена загазованість повітря робочої зони парами і газами, які виділяються при технологічних процесах.
3. Підвищений рівень шуму і вібрації на робочих місцях від працюючого обладнання.
4. Відсутність або недостатня освітленість природним світлом.
5. Недостатня освітленість робочої зони від світильників штучного освітлення.
6. Рухомі частини виробничого обладнання, пересуваємі вузли і агрегати.
7. Відлітаючі частини інструментів, який зруйнувався під час роботи.
8. Підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може відбутись через тіло людини.
9. Фізичні динамічні та статичні навантаження.
10. Монотонність праці.

При відсутності засобів захисту запиленість повітряного середовища в зоні дихання верстатників може перевищувати граничне допустимі концентрації.

підвищений рівень шуму; метеоумови, які не відповідають допустимим; недостатнє або нераціональне освітлення та інші.

До небезпечних виробничих факторів відносяться: небезпека ураження людини електричним струмом напругою 220 В.

До психо-фізіологічних факторів відносяться: незадовільний психологічний клімат в колективі; незадоволеність працею, монотонність праці.

#### 5. 1.2Електробезпека

Проектована дільниця по безпеці ураження людей електричним струмом до особливо небезпечних приміщень, оскільки на цій дільниці існують

струмопровідні поли і можливість одночасного дотику людини до механізмів, що мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів з іншого.

Для захисту людей від небезпеки ураження електричним струмом використані такі технічні засоби захисту: виконане занулення корпусів електричних апаратів, освітлювачів, каркасів розподільчих щитів [44].

Захисна дія заземлення ґрунтується на зменшенні напруги дотику між корпусом обладнання і землею. При замиканні любої фази на струмопровідний корпус через провідник заземлення фаза замикається на землю.

Це є однофазне коротке замикання, від струму якого спрацює захисне обладнання, яке відключає дану установку від електромережі.

Застосовується 3-х фазна, 3-х провідна мережа з ізольованою нейтраллю.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Метеорологічні умови (мікроклімат) виробничих приміщень визначається діючими на організм людини сукупністю температури, вологості та швидкості руху повітря, а також температури оточуючих поверхонь. Нормальні метеорологічні умови в приміщенні забезпечуються раціональною вентиляцією і опаленням на рівні допустимих значень температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря [46].

Таблиця 5.1 — Нормативні параметри мікроклімату

Категорія робіт	Період року	Температура, °С			Відносна вологість, %;		Швидкість руху, м/с	
		Опт. м.	Допустима на постійних робочих місцях		Опт. м.	Допустима на постійних робочих МІСЦЯХ	Опт. м.	Допустима на постійних робочих місцях
			Верхня межа	Нижня межа				
Середньої важк. II б	Холоди	15-18	21	15	55-70	75	0,1-0,3	не більше 0,4
	теплій	20-25	27	16	50-65	примітка 1	0,2-0,4	0,2-0,5

Інтенсивність теплового випромінювання не повинна перевищувати 100 Вт/м<sup>2</sup> при опромінюванні до 25% поверхні тіла\*

Шкідливі речовини, які виділяються показані в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Шкідливі речовини та їх ГДК

Назва речовини	Величина ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Агрегатний стан	Клас небезпеки	Особливість дії на організм
Пил мінеральний	6	А	III	Ф
Азоту окис (NO <sub>2</sub> )	5	П	III	0
Двоокис вуглецю (CO <sub>2</sub> )	20	П	IV	0

Для захисту від шкідливих речовин, які знаходяться в повітрі застосовують такі заходи:

- 1) приміщення обладнують загально-обмінною припливно-витяжною механічною вентиляцією;
- 2) своєчасний якісний ремонт вентиляційного обладнання;
- 3) регулярне прибирання приміщення.

Система опалення забезпечує рівномірне нагрівання повітря в зоні, можливість місцевого регулювання і вимикання, зручність в експлуатації, а також доступ при ремонті.

Температура припливного повітря, яке подається в холодний період року знаходиться на рівні +16 °С і не вище 25 °С.

Вхідні двері зони мають справний механічний пристрій примусового закриття. Викиди в атмосферу із системи вентиляції розташовані на відстані від приймальних пристроїв для зовнішнього повітря більше 10 м. по горизонталі, на висоті більше 2 м. над найвищою точкою покрівлі.

Припливна вентиляція організовується з подачею повітря з розрахунку 125 м<sup>3</sup>/год. на 1 м<sup>3</sup> приміщення. подача повітря здійснюється з швидкістю 2 - 2,5 м/с.

В мережу вентиляції необхідно встановити:

- 1) фільтр для очистки подаваного повітря;
- 2) калорифер для обігріву подаваного повітря в холодну пору року.

### 5.2.2 Виробниче освітлення

Кількісні і якісні характеристики освітлення регламентовані [45].

Природне освітлення забезпечується подвійними вікнами.

Розряд зорової роботи на механічній ділянці – 4а.

Штучне освітлення в приміщеннях повинно задовольняти вимогам (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Норми освітленості приміщень і виробничих дільниць

Приміщення	Площина нормування освітленості	Розряд зорової роботи	Освітленість	
			норма	діюче
Механічна дільниця	Горизонтальна 0,8м	4а	300(750)	250(700)

Для загального освітлення в системі комбінованого слід передбачити, як правило, газорозрядні лампи незалежно від типу джерела світла місцевого освітлення.

При проектуванні загального освітлення (незалежно від системи освітлення) на підставі техніко-економічних розрахунків, слід приймати мінімально нерівномірність освітленості в зоні розташування робочих місць, при цьому відношення максимальної освітленості до мінімальної не повинно перевищувати для робіт I - III розрядів при люмінесцентних лампах 1,5; при інших джерелах світла – 2.

При виконанні в приміщеннях робіт 1-V розрядів освітленість проходів та дільниць де роботи не виконуються, повинна складати не менше 25(%) освітленості, що створюються світильниками загального освітлення на робочому місці, але не менше 75(лк) при газорозрядних лампах.

Для місцевого освітлення повинні бути передбачені світильники з непросвічуючими відбивачами, які мають захисний кут не менше 30°.

Аварійне освітлення передбачається, якщо відключення робочого освітлення може викликати:

- порушення норм обслуговування обладнання;
- тривале порушення технологічного процесу;
- порушення роботи пристроїв вентиляції і кондиціонування повітря для виробничих приміщень.

### 5.2.3 Виробничий шум

Джерелом шуму на дільниці є працююче обладнання та системи вентиляції.

За характером спектру шум на дільниці широкопasmовий із безперервним спектром шириною більше октави. За часовими характеристиками шум постійний, так як рівень звуку за восьмигодинний робочий день змінюється в

часі не більш, ніж на 5 дБА. За походженням шум механічний (від працюючого обладнання) і аеродинамічний (від вентиляційних установок). Характеристикою шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску (дБ) в октавних смутах з середньгеометричними частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Допускається в якості характеристики постійного широкосмугового шуму на робочих місцях при орієнтовній оцінці приймати рівень звуку (дБА), виміряний на тимчасовій характеристиці "повільно" шумоміра.

Гранично допустимий спектр шуму на робочих місцях на агрегатній ділянці приведений у табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимий спектр шуму на робочих місцях [5]

Вид трудової діяльності	Октавні рівні звукового тиску, дБ на середньгеометричних частотах, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення шуму на ділянці використовують архітектурно-планувальні методи захисту. Сюди відноситься раціональне розміщення технологічного обладнання, верстатів, раціональне розміщення робочих місць, раціональне акустичне планування зон і режиму руху транспорту, створення різних шумозахищених зон в різних місцях знаходження людей.

Вимоги по допустимому рівню шуму виконуються.

#### 5.2.4 Виробничі вібрації

Від систем вентиляції та іншого обладнання на працюючих може діяти вібрація. Вібрація характеризується такими показниками як віброшвидкість, віброприскорення, рівень віброшвидкості, рівень віброприскорення.

Категорія вібрації 3 тип "а" - технологічна на робочих місцях. Критерій оцінки - межа зниження продуктивності прац. На працюючих діє локальна і загальна вібрація. Вона передається через руки працюючих і через підшви ніг.

Санітарні норми одночислових показників вібраційного навантаження на працюючого при тривалості зміни 8 год приведені в табл.4. 5 [46].

Таблиця 5.5 – Норми вібраційного навантаження

Вид вібрації	Категорія вібрації за санітарними нормами	Напрямок дії	Нормативні коректовані за частотою та еквівалентні коректовані значення			
			Віброприскорення		Віброшвидкість	
			м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с · 10 <sup>-2</sup>	дБ
Локальна	-----	X <sub>n</sub> ; Y <sub>n</sub> ; Z <sub>n</sub>	2,0	126	2,0	112
Загальна	3 тип "а"	X <sub>0</sub> ; Y <sub>0</sub> ; Z <sub>0</sub>	0,1	100	0,2	92

Для зменшення вібрації, яка передається на робочі місця, обладнання на ділянці встановлено на віброізолятори. Вентилятори систем вентиляції також встановлюють на віброізолятори і розміщують поза приміщеннями.

Вимоги по допустимому рівню вібрації виконуються.

### 5.3. Пожежна безпека

Приміщення відноситься до приміщення категорії Г по пожежній небезпеці (речовини здатні при взаємодії з водою, повітрям або один з одним лише горіти).

З метою попередження виникнення пожеж передбачено [48]:

- 1) заборона застосування відкритого вогню;
- 2) застосування в електромережі 220 В струмового захисту з плавкими вставками;
- 3) прокладання електропроводки у металевих трубах і гнучких металевих рукавах;
- 4) заборона паління на робочих місцях.

Приміщення оснащено засобами гасіння пожежі: один вогнегасник ОХП-10, один - ОП-5. Табличка на дверях при вході інформує про категорію пожежної небезпеки.

Приміщення знаходить в будинку II ступеня вогнестійкості. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій згідно [47] наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5. 6 – Вогнестійкість будівлі

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Площадки, балки і марші	Плити, настили (з утеплювачем) і інші несучі конструкції перекриття	Елементи	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі і в.т.ч. з навісних панелей	Внутрішні несучі перегородки				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
II	2,5	1,25	0,5	0,5	2,5	1	1	0,5	0,5

Відстань від найбільш віддаленого місця до найближчого евакуаційного виходу для категорії приміщень, незалежно від об'єму, для ступеня вогнестійкості II - не обмежується.

У покритті будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції.

## 5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

### 5.4.1 Дія іонізуючих випромінювань на людей

Під впливом іонізуючого випромінювання атоми і молекули живих клітин іонізуються, в результаті чого відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які впливають на характер подальшої життєдіяльності людини.

Вплив радіоактивного випромінювання на організм людини можна уявити в дуже спрощеному вигляді таким чином. Припустімо, що в організмі людини відбувається нормальний процес травлення, їжа, що надходить, розкладається на більш прості сполуки, які потім надходять через мембрану усередину кожної клітини і будуть використані як будівельний матеріал для відтворення собі подібних, для відшкодування енергетичних витрат на транспортування речовин і їхню переробку. Під час потрапляння випромінювання на мембрану відразу ж порушуються молекулярні зв'язки,

атоми перетворюються в іони. Крізь зруйновану мембрану в клітину починають надходити сторонні (токсичні) речовини, робота її порушується. Якщо доза випромінювання невелика, відбувається рекомбінація електронів, тобто повернення їх на свої місця. Молекулярні зв'язки відновлюються, і клітина продовжує виконувати свої функції. Якщо ж доза опромінення висока або дуже багато разів повторюється, то електрони не встигають рекомбінувати; молекулярні зв'язки не відновлюються; виходить з ладу велика кількість клітин; робота органів розладнується; нормальна життєдіяльність організму стає неможливою.

Специфічність дії іонізуючого випромінювання полягає в тому, що інтенсивність хімічних реакцій, індукованих вільними радикалами, підвищується, й у них втягуються багато сотень і тисячі молекул, не порушених опроміненням. Таким чином, ефект дії іонізуючого випромінювання зумовлений не кількістю поглинутої об'єктом, що опромінюється, енергії, а формою, в якій ця енергія передається. Ніякий інший вид енергії (теплова, електрична та ін.), що поглинається біологічним об'єктом у тій самій кількості, не призводить до таких змін, які спричиняє іонізуюче випромінювання.

#### 5.4.2 Розрахунок режимів радіаційного захисту

Визначимо можливу дозу опромінення оператора в заданих умовах радіаційного забруднення, які будуть працювати у звичайному режимі (2 зміни по 12 год.)

$$D_m = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_n^3})}{K_{\text{пос}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{13^3} - 1)}{10} = 1,24 \text{ (мР)},$$

де  $t_n=1$  год. – час початку роботи після радіоактивного забруднення;

$t_k=1+12=13$  год. – час завершення роботи першої робочої зміни після радіоактивного забруднення;

$p_{1.\max}=1,6$  мР/год. – рівень радіації через одну годину після радіоактивного забруднення;

$K_{\text{пос}}=10$  – коефіцієнт послаблення радіації виробничим приміщенням.

Визначимо граничне значення рівня радіації

$$p_{\text{гр}} = \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}}}{1,33 \cdot (\sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_n^3})} = \frac{0,75 \cdot 10}{1,33 \cdot (\sqrt[4]{13^3} - \sqrt[4]{1^3})} = 0,955 \text{ (мР/год)}.$$



Оскільки можлива доза опромінення  $D_M > D_{\text{доп}} (1,24 > 0,75)$  та рівень радіоактивного забруднення  $p_{1\text{max}} > p_{\text{гр}} (1,6 > 0,955)$  перевищують допустимі норми, тому робота в режимі 2 зміни по 12 год. неможлива.

Розрахунок режимів радіаційного захисту проведемо в такій послідовності.

Визначасмо час початку роботи першої зміни, для цього знаходимо коефіцієнт  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} = \frac{0,75 \cdot 10}{1,33 \cdot 1,6} = 3,52.$$

Згідно довідникових даних час початку роботи першої скороченої зміни  $t_{\text{п1}} = 1$  год.

Для 1-ї скороченої зміни:  $t_{\text{п1}} = 1$  (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{\text{к1}} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{\text{п1}}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{1^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 7,44 \approx 7 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{\text{р1}} = t_{\text{к1}} - t_{\text{п1}} = 7 - 1 = 6 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{\text{м1}} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot (\sqrt[4]{t_{\text{к1}}^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п1}}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{7^3} - \sqrt[4]{1^3})}{10} = 0,73 \text{ (мР)}.$$

Для 2-ї зміни:  $t_{\text{п2}} = t_{\text{п1}} + t_{\text{р1}} = 1 + 6 = 7$  (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{\text{к2}} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{\text{п2}}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{7^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 15,43 \approx 15 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{\text{р2}} = t_{\text{к2}} - t_{\text{п2}} = 15 - 7 = 8 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{\text{м2}} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot (\sqrt[4]{t_{\text{к2}}^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п2}}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{15^3} - \sqrt[4]{7^3})}{10} = 0,732 \text{ (мР)}.$$

Для 3-ї зміни:  $t_{\text{п3}} = t_{\text{п2}} + t_{\text{р2}} = 7 + 8 = 15$  (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к3} = \left( \frac{D_{доп} \times K_{пос} + 1,33 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt[4]{t_{п3}^3}}{1,33 \cdot p_{1max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{15^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 24,69 \approx 24,5 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{р3} = t_{к3} - t_{п3} = 24,5 - 15 = 9,5 (\text{год}).$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м3} = \frac{1,33 \cdot p_{1max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к3}^3} - \sqrt[4]{t_{п3}^3})}{K_{посл}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{24,5^3} - \sqrt[4]{15^3})}{10} = 0,74 (\text{мР}).$$

Для 4-ї зміни:  $t_{п4} = t_{п3} + t_{р3} = 15 + 9,5 = 24,5 (\text{год}).$

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к4} = \left( \frac{D_{доп} \times K_{пос} + 1,33 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt[4]{t_{п4}^3}}{1,33 \cdot p_{1max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{24,5^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 35,16 \approx 35 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{р4} = t_{к4} - t_{п4} = 35 - 24,5 = 10,5 (\text{год}).$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м4} = \frac{1,33 \cdot p_{1max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к4}^3} - \sqrt[4]{t_{п4}^3})}{K_{посл}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{35^3} - \sqrt[4]{24,5^3})}{10} = 0,742 (\text{мР}).$$

Для 5-ї зміни:  $t_{п5} = t_{п4} + t_{р4} = 24,5 + 10,5 = 35 (\text{год}).$

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к5} = \left( \frac{D_{доп} \times K_{пос} + 1,33 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt[4]{t_{п5}^3}}{1,33 \cdot p_{1max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{35^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 46,42 \approx 46 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{р5} = t_{к5} - t_{п5} = 46 - 35 = 11 (\text{год}).$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м5} = \frac{1,33 \cdot p_{1max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к5}^3} - \sqrt[4]{t_{п5}^3})}{K_{посл}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{46^3} - \sqrt[4]{35^3})}{10} = 0,736 (\text{мР}).$$

Для 6-ї зміни:  $t_{п6} = t_{п5} + t_{р5} = 35 + 11 = 46 (\text{год}).$

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к6} = \left( \frac{D_{доп} \times K_{пос} + 1,33 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt[4]{t_{п6}^3}}{1,33 \cdot p_{1max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{46^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 58,03 \approx 58 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{р6} = t_{к6} - t_{п6} = 58 - 46 = 12 (\text{год}).$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{\text{мб}} = \frac{1,33 \cdot p_{\text{1max}} \cdot (\sqrt[4]{t_{\text{к6}}^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п6}}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{58^3} - \sqrt[4]{46^3})}{10} = 0,75(\text{мР}).$$

Згідно проведеного розрахунку роботу в дві зміни на підприємстві можна буде розпочинати через 35 год. після радіоактивного забруднення.

Для захисту працівників в таких умовах роботи доцільно вжити таких додаткових заходів: ввести в дію режими радіаційного захисту; незайнятих на виробництві працівників евакуювати; укрити зміну, що знаходиться на відпочинку в сховищі; забезпечити працівників засобами індивідуального захисту; систематично проводити прибирання у виробничих приміщеннях; провести герметизацію виробничого приміщення та встановити протипилові фільтри у вентиляційну систему; провести йодну профілактику персоналу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Поглиблені дослідження, щодо вивчення наплавленої поверхні, яка утворюється під впливом насичення вуглецем і поділяється на три шари, при чому між першим та другим шаром від зовнішньої поверхні, спостерігається скачкоподібна зміна мікротвердості, а між другим та третім шарами даний перехід є плавним.

2. Дослідження проведені на зразках зі сталі 45 показали, що при наплавленні їх електродним дротом Св-08ГС діаметром 1,2 мм в середовищі  $\text{CO}_2$ , з додаванням у зону сплавлення вуглецю у вигляді графітового порошку у складі флюсу, відбулося науглецьовування поверхні зразка на глибину 0,2...0,4 мм, що підтверджують дюрOMETричні дослідження. Відбулося утворення високовуглецевого наплавленого шару з утворенням ледебуритної структури з максимальною твердістю. Мікроструктурні дослідження виявили наступну структуру: Перліт + Ледебуритний цементит + Ледебурит.

3. Проведений аналіз існуючих технологічних процесів відновлення колінчастих валів показав, що найбільш раціональним в умовах виробництва є технологічний процес відновлення з використанням електродугового наплавлення порошковим дротом в середовищі  $\text{CO}_2$ , який забезпечує відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь з високим опором втомленості.

4. На основі проведення дефектування деталі розроблено технологічний процес відновлення зношених поверхонь колінчастого валу, визначено кількість переходів, припуски та розрахунок режимів механічної обробки; режимів наплавлення на робочі поверхні.

5. Використання (діаграми Ісікави) дозволило методу причинно-наслідкової діаграми, визначити основні фактори, що впливають на якість відновлених деталей. Показано, що до них слід віднести середовище у якому працює вал та матеріал поверхні тертя.

6. Розроблений мундштук для наплавлення в  $\text{CO}_2$ :

– знижує втрати потужності та нагрів обладнання, стабілізує параметри наплавлених валиків та понижує розбрикування металу із зварної ванни;

– створює ламінарний потік захисного газу при перепаді тиску в системі  $0,7 \cdot 10^5$  Па.

7. Обґрунтовано обладнання для реалізації технологічного процесу.

8. Проведені розрахунки режимів наплавлення аналітичним методом відповідають рекомендаціям експертної програми «Наплавка» та підтвердили вибір наплавлювального дроту і розрахунки, які забезпечують високу продуктивність відновлення, зменшують трудомісткість та витрати часу.

9. Розроблена установка з числовим програмним керуванням на базі вузлів компанії «Festo», що дозволяє проводити відновлення поверхонь деталей типу вал.

10. Для реалізації процесу відновлення розроблено технічну документацію.

11. Креслення деталі, ремонтне креслення та маршрутна карта технологічного процесу виконані за допомогою програми КОМПАС 3D.

12. Економічні розрахунки показали, що термін окупності складає 1,49 роки, це свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження цієї розробки та виведення її на ринок.

13. Технологічний процес відновлення відповідає вимогам охорони праці та безпеки в надзвичайній ситуації. Для забезпечення чистоти повітря і нормалізації параметрів мікроклімату, передбачена припливна система вентиляції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Большаков В.І. Прикладне матеріалознавство: Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів. 2-е вид., доп. і перероб./ Большаков В.І., Береза О.Ю., Харченко В.І. Під ред. д-ра техн. наук, проф. В.І. Большакова. – РВА «Дніпро-VAL»: 2000. – 290 с.
2. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / Под ред. д.т.н., проф. В.С. Попова. – Мотор Сич, 2004. – 394 с.
3. Василик А.В., Дрогомирецький Я.А., Криль Я.А. Теплові розрахунки при зварюванні – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 209с.
4. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / Под ред. д.т.н., проф. В.С. Попова. – Мотор Сич, 2004. – 394 с.
5. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Минск : Выш. школа, 1983. – 243 с.
6. Гругурко І.О., Брендюля М.Ф., Доценко С.М. Технологія машинобудування (дипломне проектування. Навчальний посібник. – 2007р. – 768 с.
7. Жуков А.А., Шиліна О.П., Осадчук А.Ю., Архіпова Т.Ф. Формування високовуглецевих поверхневих шарів на сталі та чавуні. – Вісник ВПІ №4. 1997р. 68-70 с.
8. Дубинин Е.А., Полянский А.С. Совершенствование методов нормирования ремонтпригодности автотракторной техники. – Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов, ХНАДУ, Вып. 16. – Харьков, 2005. – С. 103-105.
9. Довбыш В. М., Забеднов П. В., Зленко М. А. Аддитивные технологии и изделия из металла / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [nami.ru/upload/AT\\_metall.pdf](http://nami.ru/upload/AT_metall.pdf)
10. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. – Вінниця: ВНТУ, 2012.
11. Козловський В. О. Економіка, організація виробництва та менеджмент в дипломних роботах. Навчальний посібник.– Вінниця : ВНТУ, 2004. – 94 с.
12. Козловський В. О., Лесько О.Й Інноваційний менеджмент. Практикум.– Вінниця: ВНТУ, 2006. – 166 с.

13. Какуевицкий В.А., Гусейнов Д.Г. Усталостная прочность автомобильных коленчатых валов, восстановленных электродуговой наплавкой. // Автоматическая сварка. 1984. №3. С.71-75.

14. Металознавство: Підручник / О.М.Бялік, В.С.Черненко та ін. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: ІВЦ "Видавництво <<Політехніка>>", 2002. – 384 с.

15. Мірошник В.О. Ремонт меліоративних, будівельних машин. Практикум.: навч. посібник/ За ред. В.О.Мірошника – К.: Вища школа, 1995р.

16. Нефедов Н.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учеб. пособие для техникумов по предмету «Основы учения о резании металлов и режущий инструмент». 4-е изд., перераб. и доп. – М. Машиностроение, 1984. – 400 с.

17. Нанесення покриття : [навчальний посібник] / [ В. М. Корж, В. Д. Кузнецов, Ю. С. Борисов, К. А. Ющенко ] ; за редакцією академіка НАН України К. А. Ющенко – К. : Аристей, 2005. – 204 с.

18. Власов А.Ф., Кузнецов В.Д., Макаренко Н.О., Богуцький О.А. Наплавлення: навч. посібник – Краматорськ, ДДМА, 2010. – 336с.

19. Оснач О. Ф., Пилипчук В. П., Коваленко Л. П. Промисловий маркетинг: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 364 с.

20. Павлов О. Г., Мірошніченко К. А. Аналіз технологій компенсації зношеного шару металевих поверхонь.– Вісник Сумського національного аграрного університету, випуск №10. – 2013. – С. 22 –23.

21. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением /Под ред. Б.Е.Патона . - М.: Машиностроение , 1974, - 768 с./

22. Педос С. И., Шугаев В. А. Теория формирования покрытий: Методы получения покрытий. учебн. пособ. – М: Учеба, 2007. – 64 с.

23. Проектування технологічних процесів відновлення поверхонь : лабораторний практикум / Савуляк В. І., Шенфельд В. Й., Дусанюк Ж. П. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 51 с.

24. Полянский А.С., Дубинин Е.А., Плетнев В.Н. Анализ и классификация показателей ремонтпригодности средств транспорта // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Тракторна енергетика в рослинництві: Зб. наук. праць, Вип. 60. – Харків, 2007. – С. 165- 169.

25. Савуляк В. І., Заболотний С.А., Шенфельд В. Й. Наплавлення високовуглецевих покриттів з використанням вуглецевих волокон. – Проблеми трибології. – 2010. – №1. – С. 66 – 70.
26. Савуляк В.І., Івацько В.Т. Відновлення деталей автомобілів. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 104 с.
27. Савуляк В. І., Шиліна О. П. Магістерська кваліфікаційна робота. Загальні вимоги та рекомендації до її виконання : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 64 с.
28. Савуляк В.І., Івацько В.Т. Відновлення деталей автомобілів: Лабораторний практикум.– Вінниця : ВНТУ, 2004. – 96 с.
29. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х. Т. Под. ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. 4-е изд. перераб и доп. – М. : Машиностроение 1985 – 656 с.
30. Канарчук В.Е., Чигиринец А.Д. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств: Учебник: в 3 кн. – К.: Вища шк., 1992. – Кн.3. Ремонт автотранспортных средств. – 495 с., ил.
31. Савуляк В.В. Управління якості продукції: навчальний посібник – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 91 с.
32. Триботехническое материаловедение и триботехнология [Электронный ресурс]: Учебн. пособие [для студ. высш. учеб. зав.] / Н.Е. Денисова, В.А. Шорин, Н.Н. Гонтарь, Н.И. Волчихина, Н.С. Шорина. – Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2006. – Adobe Acrobat 7.0 Document, 3,62 Mb. – Системні вимоги: Windows XP; MS Word 2003. – Назва з титул. екрана.
33. Савуляк В.І., Шенфельд В.Й. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Проектування технологічних процесів відновлення поверхонь» для студентів за напрямком 050504 – Зварювання, спеціальності 7.050504–Технологія та устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій. – Вінниця: ВНТУ , 2009. – 186 с.
34. Лифшиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла – М.– Машиностроение, 1989. – 188с.
35. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение; 1987. – 192 с.: ил.
36. Charpy G. Etude sur les olliages dits antifriction/ – Paris. 1987.
37. Yrafen W., Sdenhofer B. Acetylene low-pressure carburizing – a novel and superior carburizing technology. – Heat treatment progress, 1999, v.26, w. 4.



38. Бакалець Д. В. Отримання зносостійких покриттів наплавкою лежачим електродом під шаром флюсу [Електронний ресурс] / Д. В. Бакалець // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р. - Електрон. текст. дані. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2999>.

39. Теибоши К. Влияние содержания углерода, хрома и термообработки на вязкость и износостойкость высокоуглеродистых легированных сталей/ К. Теибоши, Дзайре то Куросесу, 1989. –2.–№3.–849с.

40. [www.festo.com.ua](http://www.festo.com.ua).

41. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Київ, 2000.

42. ДНАОП 0.03-3.30-96. Державні стандартні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань.

43. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml>

44. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. -154 с.

45. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення- [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)

46. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

47. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_36/5-1-0-1759](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759)

48. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

ДОДАТКИ

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ГМ  
д.т.н., проф. \_\_\_\_\_ Поліщук Л.К.  
« 24 » 09 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему: ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

08-27.МКР.006.00.000 ТЗ

Керівник: к.т.н., доцент каф. ГМ  
\_\_\_\_\_ О.П. Шиліна  
Виконав: ст.гр. ІГМ-20м  
\_\_\_\_\_ Р.Р. Остроус

Вінниця 2021

Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу

Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу складається з основних етапів, які відповідають стандарту та ГОСТ 2.103-2013.

**Підстава для розробки** наказ ректора ВНТУ № 277 від « 24 » вересня 2021 року

### **1 Назва та об'єкт проектування**

Назва: Вдосконалення технології та оснащення для забезпечення якості поверхонь колінчастих валів

Умовне позначення: 08-27.МКР.006.00.000 ТЗ

Колінчасті вали є складними за конструкцією, важконавантажені та дорогі деталі. Колінчасті вали працюють в умовах знакозмінних навантажень. Основними причинами вибраковування колінчастих валів є абразивне зношування шийок та втомні поломки в області галтелей, а саме у пригалтельних зонах шийок.

При наплавленні колінчастих валів у більшості випадків застосовують відомі способи зварювання. Спеціальні властивості наплавленого металу забезпечуються за рахунок легування, тобто введення в його склад відповідних елементів у потрібній кількості [13].

Найбільш розповсюдженим є легування наплавленого металу за рахунок введення в зону дуги (зварювальну ванну) металів, сплавів і металоподібних сполук у вигляді різних карбідів і інтерметалідів.

За результатами дефектування поверхонь валу колінчастого видно, що найбільш повторюваним дефектом є спрацювання опорних шийок підшипники ковзання  $\varnothing 75js4 \begin{matrix} +0,160 \\ -0,075 \end{matrix}$  та шатунних шийок  $\varnothing 65,5H0^{+0,12}$ . Інші дефекти зустрічаються значно рідше, що необхідно врахувати під час проектування технології відновлення колінчастого валу.

Вал переважно виготовляють із сталі 45. Поверхні опорних шийок і шатунних шийок мають твердість  $HRC = 45-50$ .

Точність розмірів для шийок в межах 6–7 квалітетів, для решти елементів – 8-9 квалітетів, відхилення форми і розмірів не повинні виходити за межі поля допуску 7-го квалітету. Шорсткість поверхонь шийок не більше  $Ra=0,4$  мкм.

Габаритні розміри вала 875x230 мм. Конструкція валу та 3D модель показана на рисунку 3.3 та 3.5 відповідно.

На кресленні деталі немає специфічних вимог і тому немає необхідності змінювати вимоги.

Квалітети точності та шорсткість оброблюваних поверхонь можуть бути забезпечені при застосуванні відповідних методів обробки та кількості переходів. Відносне розташування поверхонь може бути забезпечене за рахунок застосування відповідних схем базування при механічній обробці та правильної організації змісту операцій.

## **2 Мета, завдання, призначення та джерела розробки**

Розробка технологічного процесу проводиться на основі завдання на магістерську кваліфікаційну роботу згідно наказу ректора ВНТУ №277 від 24.09.20 р., складеного у відповідності до вимог навчального плану підготовки спеціалістів у ВНТУ і затвердженого кафедрою ГМ.

Призначенням даної магістерської кваліфікаційної роботи є виконання технологічних та конструкторських розробок для вдосконалення технологічного процесу аналога. Це можливо досягнути шляхом введення необхідних операцій для кращих експлуатаційних властивостей валу, проведення необхідних розрахунків оптимальних режимів обробки та модернізації, або проектуванням нової конструкції окремого технологічного обладнання.

**Метою роботи** є вибір раціонального способу нанесення покриття з розробкою ефективної технології відновлення робочих поверхонь колінчатого валу за рахунок під впливом вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу на якість відновлення робочих поверхонь та автоматизації робочого процесу.

### **Задачі дослідження:**

1. Визначення кількості графітового порошку у флюсі, який гарантує твердість наплавленого шару при експлуатації в умовах тертя та зношування.
2. Дослідити вплив вуглецю, з графітового порошку у складі флюсу, на утворення структури при наплавленні деталі зварювальним дротом Св-08ГС та його вплив на мікроструктуру перехідної зони наплавленого шару і структуру поверхневих шарів;
3. Спроекувати мундштук для наплавлення в  $\text{CO}_2$  з метою стабілізації та створення ламінарного потоку захисного газу.

4. Розробити технологічний процес відновлення з використанням електродугового наплавлення, який забезпечує відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь колінчастого валу.

5. Спроекувати устаткування з числовим програмним керуванням на базі вузлів Festo.

**Джерелами розробки є:**

- методика техніко-економічного обґрунтування роботи;
- методика проектування технологічного процесу відновлення деталей типу вала;
- методика модернізації та проектування конструкції технологічного обладнання;
- вимоги до комплексу документів “Єдина система конструкторської та технічної документації”;
- загальні правила розробки технологічних процесів і вибір засобів технологічного оснащення ГОСТ 14.301-83;
- ДЕСТ 14.305-93 – Правила вибору технологічної оснастки;
- технічна література, довідникові видання:

1. Савуляк В.І., Ремонт та відновлення деталей машин та апаратів. Методичні вказівки до виконання курсових проектів / В.І. Савуляк. - Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009.

2. Гайдамак О. Л. Вузли та деталі ремонтного виробництва автотракторної техніки. – Навчальний посібник / О.Л. Гайдамак, В.І. Савуляк – Вінниця: УНІВЕРСУМ. 2005. – 92 с.

3. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. – Минск : Выш. школа, 1983. – 243 с.

4. Козловський В. О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах і роботах. Навчальний посібник. / В. О. Козловський - Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75 с.

5. Козловський В. О. Інноваційний менеджмент. Практикум. / В. О. Козловський, О. Й. Лесько. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 166 с.

6. Оснач О. Ф. Промисловий маркетинг: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. Ф. Оснач, В. П. Пилипчук, Л. П. Коваленко – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 364 с.

7. Савуляк В.І. Відновлення деталей автомобілів. Навчальний посібник / В.І. Савуляк, В.Т. Івацько. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 104 с.

8. Савуляк В. І. Магістерська кваліфікаційна робота. Загальні вимоги та рекомендації до її виконання : навчальний посібник. / В. І. Савуляк, О. П. Шиліна – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 64 с.

9. Шиліна О.П. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Наплавлення і напилювання» студентами напряму підготовки 6.050504 – Зварювання /Уклад. О.П. Шиліна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 34 с.

### **3 Технічні вимоги та економічні показники**

#### **3.1 Вимоги до загальної структури і послідовності проектування**

Зміст розділів магістерської кваліфікаційної роботи та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу та положенням кафедри по модульно-рейтинговій оцінці рівня та термінів виконання роботи.

Стадії розробки та етапи робіт встановлені по ГОСТ 2.103-2013.

Поетапні строки, що вказуються в ТЗ, є орієнтовними. Основними строками виконання робіт вважають строки, які встановлені в плані дослідно-конструкторських робіт.

Зміст стадій проектування та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу.

#### **3.2 Вихідні дані для технологічного проектування**

Приймаємо наступні вихідні дані для технологічного проектування:

- річний обсяг ремонту валу циліндричного редуктора 800 шт,
- знос поверхонь, що відновлюються менше 0,5 мм, від робочого креслення.

#### **3.3 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації**

З метою підвищення надійності, ремонтпридатності та економічності експлуатації технологічного обладнання, що розробляється, слід максимально застосувати стандартні вироби.

Рівень стандартизації та уніфікації конструкції повинен складати не менше 80%.

### **3.4 Вимоги до техніки безпеки та охорони навколишнього середовища**

Конструктивні рішення повинні відповідати вимогам безпеки згідно встановлених параметрів відповідних стандартів по охороні праці та безпеці виробництва.

Викиди в навколишнє середовище не повинні перевищувати параметри, встановлені екологічним паспортом підприємства.

### **4 Стадії та етапи розробки**

Проектування технологічного процесу повинно проводитись з використанням варіантного пошуку раціонального рішення, включати такі основні етапи:

- розробка основної проектної задачі;
- технологічне проектування технологічного процесу;
- розробка обладнання та пристосування для технологічного процесу;
- охорона праці, навколишнього середовища та ЦО;
- економічна ефективність розробок.

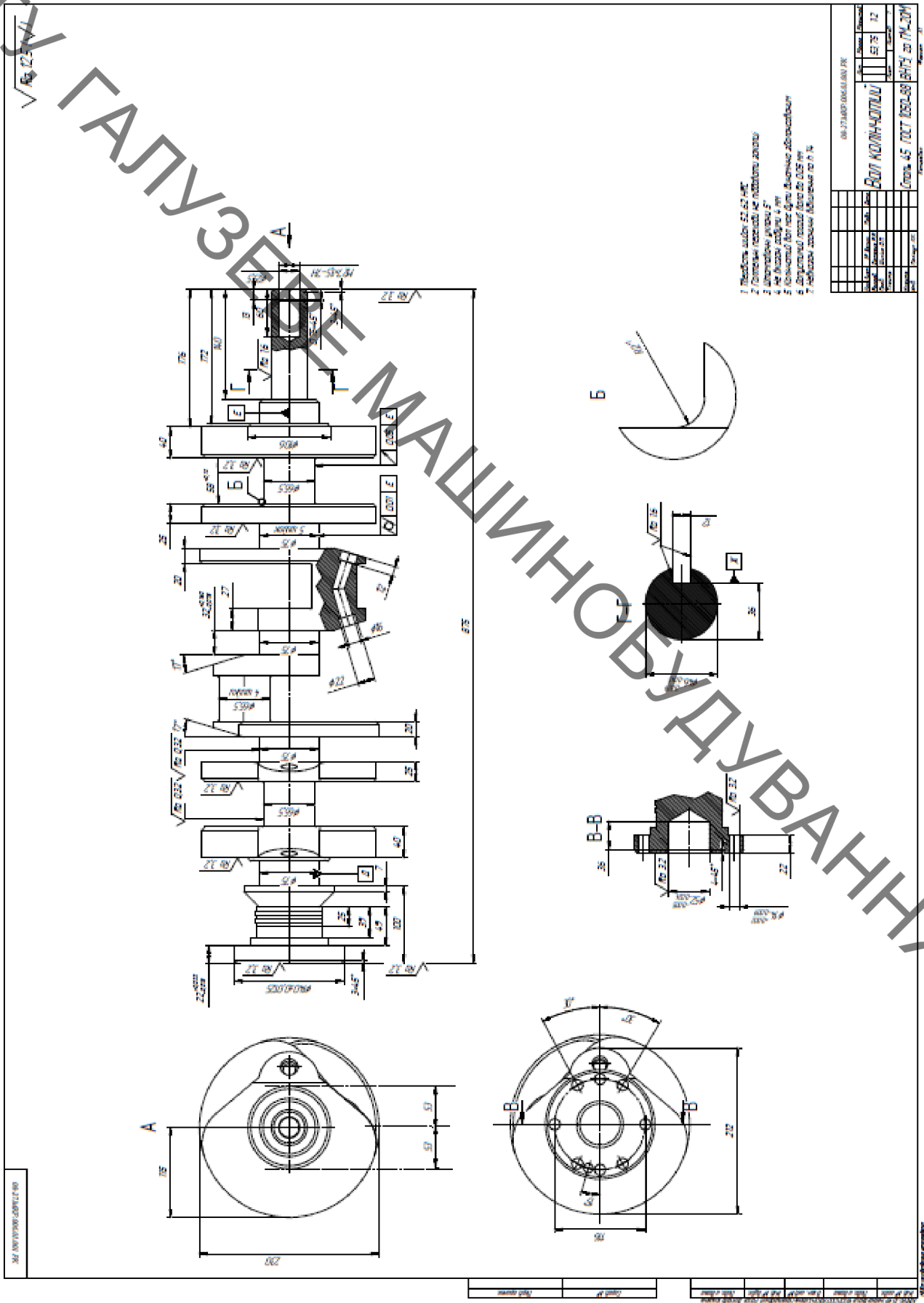
### **5 Порядок контролю та приймання**

Контроль та приймання розробок виконується у відповідності до „Положення про дипломне проектування” на кафедрі ГМ.

Технічне завдання оформлюється у відповідності з загальними вимогами до текстових конструкторських документів по ГОСТ 2.705-2013, на листах формату А4 по ГОСТ 9327-90.

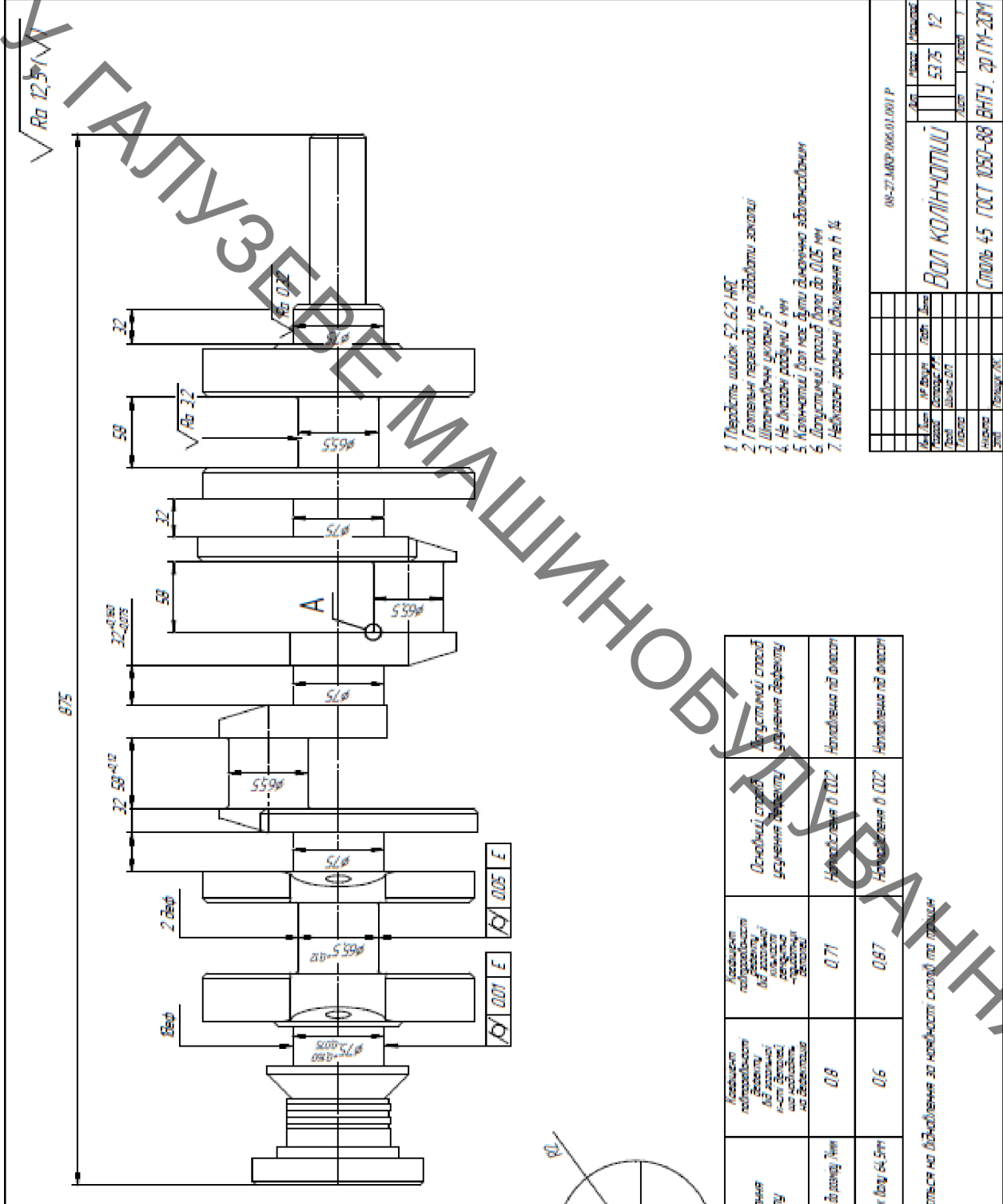


ВНТК ГАЛУЗ БУДУВАЛЬНИХ МАШИНОБУДУВАННЯ



ВНТК ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДІВАННЯ

08-27.МАР.006.01.001.Р



1. Певдота шовів 52.62 HRC
2. Гвинтами керуючі не піддавати зносу
3. Шерштявими цилінди 5°
4. Не допускати радіуси 4 мм
5. Колінчастий вал має бути діаметром збіжковим
6. Колінчастий вал має бути діаметром збіжковим
7. Невідомі значення відхилення по Н 14

№ Деталю	Найменування деталю	Коефіцієнт порівняльності до зразка	Коефіцієнт порівняльності до зразка	Коефіцієнт порівняльності до зразка	Детальний спосіб усунення дефекту
1	Колінчастий вал	0.8	0.71	0.02	Напильник по валу
2	Вал колінчастий	0.6	0.87	0.02	Напильник по валу

Колінчастий вал не піддається на відхилення за наявності сколи по гвинтам

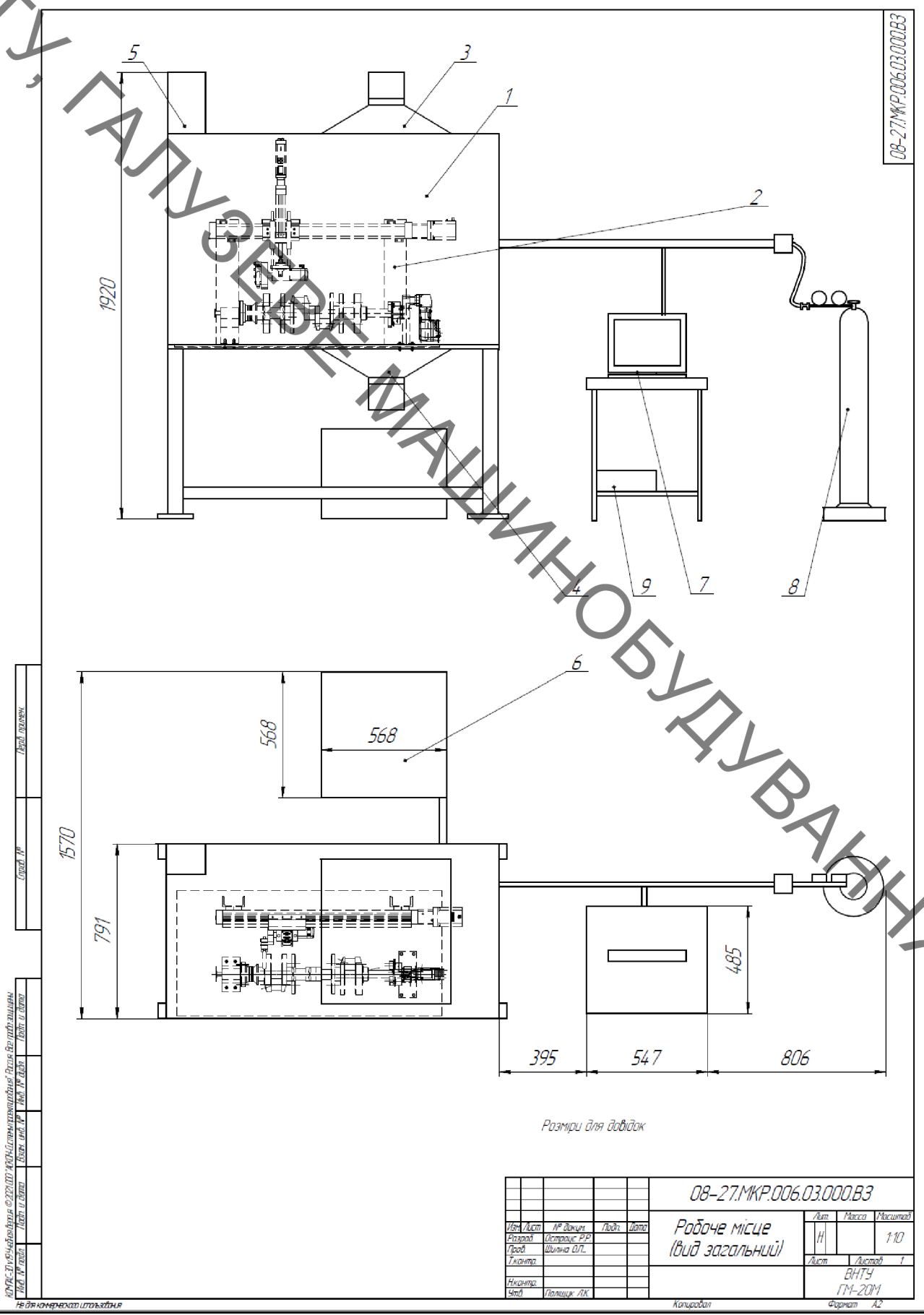
08-27.МАР.006.01.001.Р	
№ Деталю	№ Деталю
001	001
002	002
003	003
004	004
005	005
006	006
007	007
008	008
009	009
010	010
011	011
012	012
013	013
014	014
015	015
016	016
017	017
018	018
019	019
020	020
021	021
022	022
023	023
024	024
025	025
026	026
027	027
028	028
029	029
030	030
031	031
032	032
033	033
034	034
035	035
036	036
037	037
038	038
039	039
040	040
041	041
042	042
043	043
044	044
045	045
046	046
047	047
048	048
049	049
050	050
051	051
052	052
053	053
054	054
055	055
056	056
057	057
058	058
059	059
060	060
061	061
062	062
063	063
064	064
065	065
066	066
067	067
068	068
069	069
070	070
071	071
072	072
073	073
074	074
075	075
076	076
077	077
078	078
079	079
080	080
081	081
082	082
083	083
084	084
085	085
086	086
087	087
088	088
089	089
090	090
091	091
092	092
093	093
094	094
095	095
096	096
097	097
098	098
099	099
100	100
101	101
102	102
103	103
104	104
105	105
106	106
107	107
108	108
109	109
110	110
111	111
112	112
113	113
114	114
115	115
116	116
117	117
118	118
119	119
120	120
121	121
122	122
123	123
124	124
125	125
126	126
127	127
128	128
129	129
130	130
131	131
132	132
133	133
134	134
135	135
136	136
137	137
138	138
139	139
140	140
141	141
142	142
143	143
144	144
145	145
146	146
147	147
148	148
149	149
150	150
151	151
152	152
153	153
154	154
155	155
156	156
157	157
158	158
159	159
160	160
161	161
162	162
163	163
164	164
165	165
166	166
167	167
168	168
169	169
170	170
171	171
172	172
173	173
174	174
175	175
176	176
177	177
178	178
179	179
180	180
181	181
182	182
183	183
184	184
185	185
186	186
187	187
188	188
189	189
190	190
191	191
192	192
193	193
194	194
195	195
196	196
197	197
198	198
199	199
200	200

Вал колінчастий

Сталь 45 ГОСТ 1050-88

ВНТУ зр 77-2011

08-27.МАР.006.01.001.Р

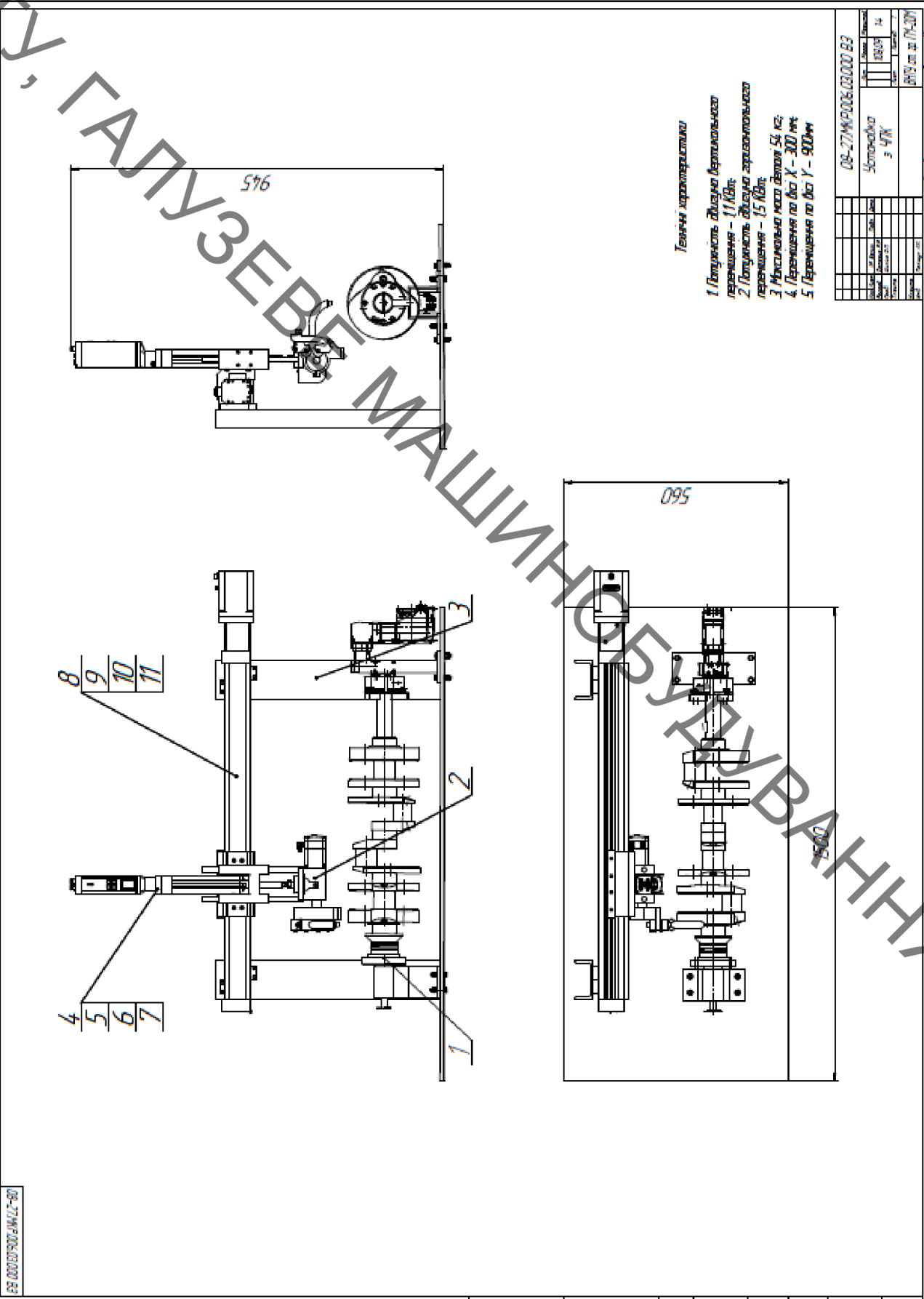


ВНТУ, ГАЛУЗЬ МАШИНОБУДУВАННЯ

КМРС-Бучацький ©2021 ПП «ВНТУ» Сторінка 115 з 115



ВНТУ, ГАЛУЗЕВІ МАШИНОБУВАННЯ



Технічні характеристики

- 1 Потужність двигуна вертикального переміщення – 11 кВт.
- 2 Потужність двигуна горизонтального переміщення – 15 кВт.
- 3 Максимальна маса деталі 54 кг.
- 4 Переміщення по осі X – 300 мм.
- 5 Переміщення по осі Y – 900 мм.

08-27MPC06.03.0000.03		Лист	Значення
		№	14
		Назва	3 ЧК
		Дата	18.09.17
		Відомості	
		Сторінка	1 з 1
		Всього сторінок	1
		Сторінка	1 з 1

08-27MPC06.03.0000.03

Мат. Р. 1	Мат. Р. 2	Мат. Р. 3	Мат. Р. 4	Мат. Р. 5	Мат. Р. 6	Мат. Р. 7	Мат. Р. 8	Мат. Р. 9	Мат. Р. 10	Мат. Р. 11	Мат. Р. 12	Мат. Р. 13	Мат. Р. 14	Мат. Р. 15	Мат. Р. 16	Мат. Р. 17	Мат. Р. 18	Мат. Р. 19	Мат. Р. 20
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Формат		Зачн	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документація</i>							
A1				08-27.MKP.006.03.000 B3	Вид загальний		
<i>Складальні одиниці</i>							
A1		1		08-27.MKP.006.02.001	Обертач	1	
A2		2		08-27.MKP.006.04.002	Голвка для наплавлення	1	
A1		3		08-27.MKP.006.05.005	Рама	1	
<i>Стандартні вироби</i>							
		4			Ось DMSE-32-100-LS-“1,5”P-Q	1	
		5			Направляющая FENG 32-100 KF	1	
		6			Осьовий набір EAMM-A48-87 A	1	
		7			Крок.мотор EIMS-ST187 S SE	1	
		8			DGE-40-SP-KF-GK	1	
		9			EAMM-A-E48-87A	1	
		10			DGE-40-SP-KF-GK	1	
		11			Болт М6-6x25.58.016 ГОСТ 7898-70	8	
				<b>08-27.MKP.006.03.000 B3</b>			
Изм.		Лист	№ док-м.	Подп.	Дата		
Разраб.		Остроус Р.Р.				Лит.	Лист
Проб.		Шіліна О.П.				4	1
Н.контр.						ВНТУ	
Утв.		Поліщук Л.К.				ст.гр. ГМ-20М	
Не для коммерческого использования				Копировал		Формат А4	

КОМП'ЮТЕРНЕ УЧЕТНЕ ВЕДЕННЯ © 2021 ООО "АРОС-СИСТЕМИ ПРОЕКТИВАННЯ", Росія. Все права захищені.  
 Підп. і дата: \_\_\_\_\_  
 Інв. № докл. \_\_\_\_\_  
 Інв. № дроб. \_\_\_\_\_  
 Взам. інв. № \_\_\_\_\_  
 Підп. і дата: \_\_\_\_\_