

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”
(шифр і назва спеціальності)

студенту Яніцькому Миколі Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу ремонту деталі
“Вал ОЛВ 52.19”

Керівник роботи Васильків Василь Васильович, доктор технічних наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 21 » 01 2026_ року № 4/9 -25

2. Термін подання студентом завершеної роботи

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі, інформація про технологічні можливості машинобудівного підприємства (перелік устаткування тощо), одиничний тип виробництва

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Розробити ТП виготовлення деталі.

2. Вибрати пристрій для закріплення деталі

3. Вибрати пристосування для контролю співвісності циліндричних поверхонь

4. Розробити схему наладки на операцію оброблення трьох отворів

5. Визначити основні заходи, які забезпечують обезпилення повітря в механообробному цеху, а також провести огляд потенційних небезпек від устаткування із систематизацією заходів щодо зниження та мінімізації їх шкідливого впливу при реалізації розробленого технологічного процесу виготовлення деталі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Креслення валу – 1 лист А1,

2. Креслення ремонтного валу – 1 лист А3;

3. Технологічна наладка на операції обробки різанням – 1 лист А1,

4. Пристосування фрезерне КРБ 22-761.05.00 СК – 1 лист А1,

5. Пристосування для контролю радіального биття КРБ 22-761.06.00 СК – 1 лист А1

6. Технологічна наладка для обробки на верстаті з ЧПК – 1 лист А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Комар Р.В.		

7. Дата видачі завдання 3.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Загально-технічна частина</i>	02.03.2026	
	<i>Технологічна частина</i>	14.04.2026	
	<i>Конструкторська частина</i>	09.05.2026	
	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	25.05.2026	
	<i>Виконання графічної частини</i>	14.06.2026	
	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	16.06.2026	
	<i>Подання роботи до кафедри та попередній захист</i>		
	<i>Захист бакалаврської роботи</i>	19.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Яніцький М.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Васильків В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему «Розроблення технологічного процесу ремонту деталі “Вал ОЛВ 52.19”» складається з чотирьох розділів, додатків та графічної частини. Метою роботи є розроблення раціонального технологічного процесу ремонту вала ОЛВ 52.19 з урахуванням характеру зношування поверхонь та виробничих можливостей машинобудівного підприємства одиничного типу виробництва. У першому розділі виконано аналіз конструкції деталі за робочим кресленням, досліджено хімічний склад і фізико-механічні властивості сталі С45, оцінено ремонтну технологічність конструкції та уточнено тип виробництва. У другому розділі розроблено технологічний процес відновлення вала методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу. Виконано дефектацію деталі, обґрунтовано технологію наплавлення та термічної обробки, розроблено маршрут ремонту, розраховано режими різання, сили різання, потужність і крутний момент при фрезеруванні шпонкового паза, визначено режими наплавлення, норми часу та міжопераційні припуски. У третьому розділі спроектовано спеціальне технологічне спорядження для закріплення вала під час фрезерування та контролю радіального биття відновлених шийок. Виконано необхідні розрахунки точності, сил затиску та параметрів затискних механізмів. У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці, безпеки життєдіяльності та екологічної безпеки при реалізації технології автоматичного наплавлення під шаром флюсу. Проведено аналіз небезпечних виробничих факторів, виконано розрахунки заземлення та повітрообміну, розроблено заходи пожежної безпеки, цивільного захисту та охорони навколишнього середовища.

Обсяг пояснювальної основної частини записки становить 80 сторінок. Графічна частина містить 6 аркушів формату А1. Додатки на 8 сторінках включають специфікації, комплект технологічної документації та програму для верстата з ЧПК.

У роботі запропоновано комплекс технологічних і конструкторських рішень, що забезпечують ефективне відновлення вала ОЛВ 52.19 та підвищення ефективності ремонтного виробництва.

Пояснювальна записка містить 12 таблиць та 26 бібліографічних джерел.

Ключові слова: вал, ремонт, відновлення деталей, автоматичне електродугове наплавлення під шаром флюсу, механічна обробка, технологічний процес.

ЗМІСТ

Вступ

ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Аналіз конструктивного виконання деталі “Вал ОЛВ 52.19” за робочим кресленням	10
1.1.1 Аналіз геометричної форми деталі	10
1.1.2 Аналіз посадочних поверхонь	12
1.1.3 Аналіз шорсткості поверхонь	12
1.1.4 Аналіз вимог до точності	12
1.1.5 Аналіз шпонкового пазу	13
1.1.6 Аналіз різьбових елементів	13
1.1.7 Аналіз термічної обробки	13
1.1.8 Технологічність конструкції	14
1.2 Технічний контроль робочого креслення деталі	14
1.3 Аналіз хімічного складу та фізико-механічних властивостей сталі С45 DIN EN 10083-2	16
1.4 Аналіз ремонтної технологічності конструкції деталі	17
1.5 Фізико-механічні властивості та оброблюваність наплавленого металу	19
1.6 Уточнення типу виробництва	21
1.7 Висновки та задачі проектування	21
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1 Дефектація деталі	24
2.2 Технологія автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу	25
2.3 Термічна обробка після автоматичного електродугового наплавлення	27
2.4 Технологічний маршрут ремонту валу	28
2.5 Розрахунок режимів різання при нарізанні шпонкового пазу	35
2.5.1 Вихідні дані.	35
2.5.2 Вибір швидкості різання	35

2.5.3	Визначення частоти обертання шпинделя	35
2.5.4	Визначення подачі	36
2.5.5	Визначення довжини робочого ходу	36
2.5.6	Основний машинний час	36
2.5.7	Допоміжний час	36
2.6	Розрахунок сили різання аналітичним методом	37
2.6.1	Розрахунок колової сили різання	38
2.6.2	Визначення осьової сили	39
2.6.3	Розрахунок потужності різання	39
2.6.4	Розрахунок крутного моменту на шпинделі фрези	39
2.7	Розрахунок технологічних режимів наплавлення	41
2.8	Технічне нормування операції наплавлення	43
2.9	Розрахунок міжопераційних розмірів і припусків для відновлюваних поверхонь	44
2.10	Висновки до розділу	47
3	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	50
3.1	Проектування технологічного спорядження КРБ 22-761.05.00 СК для універсального вертикально-фрезерного верстату типу Bridgeport I	50
3.1.1	Опис пристрою КРБ 22-761.05.00 СК для закріплення вала на універсальному вертикально-фрезерному верстаті типу Bridgeport I	50
3.1.2	Розрахунок пристосування на точність	52
3.1.3	Розрахунок силових факторів затиску	54
3.1.4	Розрахунок затискного механізму у пристрої КРБ 22-761.05.00 СК	55
3.2	Пристрій КРБ 22-761.06.00 СК для контролю радіального биття шийок валу	57
3.3	Розрахунок точності контрольного пристрою розрахунково-аналітичним методом	59
3.4	Висновки до розділу	61
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	63

4.1 Охорона праці при реалізації технології автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу	63
4.1.1 Загальна характеристика технологічного процесу	63
4.1.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	63
4.2 Розрахунок заземлення	67
4.3 Безпека життєдіяльності при реалізації технології автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу	69
4.3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	69
4.3.2 Розрахунок необхідного повітрообміну ділянки наплавлення	70
4.3.3 Забезпечення пожежної безпеки	71
4.3.4 Заходи цивільного захисту при аварійних ситуаціях	72
4.3.5 Екологічна оцінка технології відновлення валів	72
4.4 Висновки до розділу	73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	78
ДОДАТОК А. Програма для верстату з ЧПК	81
ДОДАТОК Б. Комплект технологічної документації щодо виготовлення валу ОЛВ 52.19	82
ДОДАТОК В. Специфікації	87

Вступ

У сучасних умовах розвитку промисловості одним із найважливіших напрямів підвищення ефективності машинобудівного виробництва є забезпечення надійної та довговічної роботи технологічного устаткування. Значна частина відмов машин і механізмів пов'язана зі зношуванням відповідальних деталей, серед яких важливе місце займають вали, що працюють в умовах дії змінних навантажень, тертя та вібрацій.

У процесі експлуатації посадочні поверхні валів піддаються інтенсивному зношуванню, що призводить до збільшення цілин у спряженнях, погіршення точності роботи механізмів та зниження їх експлуатаційної надійності. Одним із найбільш ефективних шляхів відновлення працездатності таких деталей є застосування ремонтно-відновлювальних технологій, які дозволяють відновити початкові розміри та властивості поверхонь при значно менших витратах порівняно з виготовленням нових деталей.

Серед існуючих способів відновлення деталей машин широкого поширення набуло автоматичне електродугове наплавлення під шаром флюсу. Даний метод характеризується високою продуктивністю, стабільною якістю наплавленого металу, можливістю автоматизації процесу та забезпеченням високих техніко-економічних показників ремонту. Наплавлення дозволяє компенсувати втрати металу внаслідок зношування та сформувати поверхневий шар із необхідними механічними властивостями для подальшої механічної обробки.

Об'єктом дослідження в кваліфікаційній роботі є вал ОЛВ 52.19, який у процесі експлуатації зазнає зношування посадочних шийок та потребує відновлення. Особливістю деталі є наявність високоточних посадочних поверхонь із полями допусків k_6 , підвищені вимоги до співвісності та обмеження за величиною радіального биття. Це зумовлює необхідність розроблення технологічного процесу відновлення, який забезпечить отримання необхідної точності та якості поверхневого шару.

Предметом дослідження є технологічний процес відновлення зношених поверхонь вала методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу з використанням сучасного устаткування та подальшою механічною обробкою на токарних, фрезерних і круглошліфувальних верстатах.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення ефективного технологічного процесу відновлення вала ОЛВ 52.19, який забезпечує відновлення його експлуатаційних характеристик, необхідної точності геометричних параметрів та підвищення ресурсу роботи при мінімальних виробничих витратах.

Практична цінність роботи полягає у розробленні технологічного процесу відновлення вала, який дозволяє значно зменшити витрати на ремонт устаткування, скоротити споживання матеріалів та енергетичних ресурсів, а також підвищити ефективність використання виробничих потужностей ремонтних підприємств.

Реалізація запропонованих технологічних рішень забезпечує отримання відновлених поверхонь із необхідними показниками точності, шорсткості та зносостійкості, що дозволяє відновленій деталі працювати в умовах, наближених до нової.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз конструктивного виконання деталі “Вал ОЛВ 52.19” за робочим кресленням

Вал ОЛВ 52.19 є важливою складовою частиною вузла вентилятора машини для обприскування сільськогосподарських угідь. Він належить до класу тіл обертання та є відповідальним елементом механічної передачі, призначеним для передавання крутного моменту від двигуна до робочого колеса вентилятора. Під час експлуатації вал сприймає складний комплекс навантажень, до яких належать крутні моменти, згинальні навантаження від встановлених на ньому деталей, а також циклічні знакозмінні напруження.

1.1.1 Аналіз геометричної форми деталі

Вал має ступінчасту конструкцію з декількома функціональними поверхнями різного призначення.

Загальна довжина деталі становить $L = 1070$ мм. Найбільший діаметр: $D = \varnothing 105$ мм. Маса – 58 кг.

Конструкція вала включає опорні шийки, посадочні поверхні під підшипники, ділянки під установаження деталей передачі, різьбову частину, шпонковий паз та технологічні канавки та фаски (таблиця 1.1).

Основна частина деталі являє собою циліндричне тіло обертання, що значно спрощує отримання заготовки та механічну обробку на токарних верстатах.

Співвідношення довжини до максимального діаметра становить $L/D = 1070/105 = 10,2$.

Оскільки відношення L/D перевищує 10, вал належить до групи довгих валів, для яких характерне зниження жорсткості під час механічної обробки. Тому при виготовленні необхідно застосовувати люнети або обробку в центрах.

Таблиця 1.1 – Зведена інформація про розміри поверхонь деталі

Позначення основних пов.	Номинальний розмір, мм	Квалітет точності	Поле допуску та його числове значення, мкм	Параметр шорсткості Ra , мкм	Додаткові особливі вимоги			
1	2	3	4	5	6			
1 і 2	Лінійний (L)	1070	$\pm IT/2$	12,5				
3		110				$\pm 1,30$		
4		62,5				$\pm 0,435$		
5		122,5				$\pm 0,37$		
6		332,0				$\pm 0,50$		
7		165,0				$\pm 0,70$		
8		220,0				$\pm 0,50$		
9		146,0				11	$\pm 0,575$	
10		Діаметральний (\varnothing)				58,0	h	-0,29
11	75,0		14	-0,74				
12	90,0		12	0,30	6,3			
13	98,0		6	g	$\begin{matrix} -0,012 \\ -0,034 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \nearrow & 0,025 & \# \end{matrix}$		
14	105,0		14	h	-0,870	6,3		
15	85,0		8		-0,054	0,8	$\begin{matrix} \nearrow & 0,025 & \# \end{matrix}$	
16			14	-0,87	12,5			
17	100,0		7	f	$\begin{matrix} -0,036 \\ -0,071 \end{matrix}$	0,8	$\begin{matrix} \nearrow & 0,025 & \# \end{matrix}$	
18	L65		14	$\pm IT/2$	$\pm 0,37$	12,5		
19	100,0		6	k	$\begin{matrix} +0,025 \\ +0,003 \end{matrix}$	1,6	$\begin{matrix} \nearrow & 0,025 & \# \end{matrix}$	
20	100,0			$\pm IT/2$	$\pm 0,435$	12,5		
21	B4	14	H	-0,30				
22	90,0	6	k	$\begin{matrix} +0,025 \\ +0,003 \end{matrix}$	1,6		$\begin{matrix} \nearrow & 0,025 & \# \end{matrix}$	
23	80,0			$\begin{matrix} +0,021 \\ +0,002 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \nearrow & 0,025 & \# \end{matrix}$			
24		74,0	12	H	+0,30	6,3		
25		$20_{-0,055}$	14	H	+0,030	12,5		
26	Різьбові	M90×2	8	g	6,3			
27		Tr70	10	H				

1.1.2 Аналіз посадочних поверхонь

На кресленні передбачено декілька точних посадочних ділянок.

Основними відповідальними поверхнями є: $\varnothing 90$ k6; $\varnothing 100$ k6; $\varnothing 90$ k6; $\varnothing 85$ h8.

Поля допусків k6 свідчать про призначення цих поверхонь для встановлення деталей із натягом або перехідною посадкою.

Для поверхонь $\varnothing 90$ k6 та $\varnothing 100$ k6 встановлено жорсткі вимоги щодо точності форми та взаємного розташування, що підтверджується наявністю допусків биття та співвісності.

Такі вимоги характерні для посадочних місць під підшипники, маточини або зубчасті колеса.

1.1.3 Аналіз шорсткості поверхонь

На кресленні встановлено різні значення шорсткості: *Ra* 0,8; *Ra* 1,6; *Ra* 3,2; *Ra* 6,3; *Ra* 12,5.

Найвищі вимоги пред'являються до посадочних шийок, де задано *Ra* 0,8. Отримання такої шорсткості потребує виконання чистового або тонкого точіння після наплавлення та попередньої обробки.

Поверхні загального призначення мають шорсткість *Ra* 3,2–6,3, що досягається чистовим точінням.

Для поверхонь, які не беруть участі у точному спряженні, допускається *Ra* 12,5.

1.1.4 Аналіз вимог до точності

На кресленні встановлено допуски радіального биття 0,025 мм, 0,06 мм.

Відносно базової осі нормується взаємне розташування кількох посадочних поверхонь.

Такі вимоги обумовлені необхідністю забезпечення рівномірного обертання, відсутності вібрацій, зниження динамічних навантажень, довговічності підшипникових вузлів.

Для забезпечення зазначеної точності необхідно виконувати остаточну механічну обробку від єдиних технологічних баз.

1.1.5 Аналіз шпонкового пазу

На правому кінці вала передбачений шпонковий паз із заокругленням радіусом: R10. Довжина паза 100 мм. Він призначений для передавання крутного моменту між валом та встановленою на ньому деталлю.

Наявність паза створює локальну концентрацію напружень, тому до якості його поверхні та точності розмірів висуваються підвищені вимоги.

Обробка паза виконується фрезеруванням кінцевою шпонковою фрезою Ø20 мм.

1.1.6 Аналіз різьбових елементів

На кресленні передбачено різьбу: M90×2-8g. Різь використовується для осьової фіксації деталей, встановлених на валу.

Враховуючи значний діаметр різі, її нарізання виконується на токарному верстаті різьбонарізним різцем після завершення основної токарної обробки.

1.1.7 Аналіз термічної обробки

На кресленні встановлено вимогу: ТВЧ h 1,2; 37–42 HRC. Це означає, що центральна циліндрична поверхня піддається поверхневому зміцненню струмами високої частоти на глибину приблизно 1,2 мм.

Після зміцнення твердість поверхневого шару повинна становити 37–42 HRC. Така твердість забезпечує підвищену зносостійкість, опір контактному руйнуванню та збільшення довговічності деталі.

1.1.8 Технологічність конструкції

Конструкція вала є достатньо технологічною для серійного та ремонтного виробництва.

Позитивними особливостями конструкції є:

- переважання поверхонь обертання;
- можливість обробки в центрах;
- наявність технологічних фасок;
- відсутність складних просторових поверхонь;
- можливість відновлення зношених шийок наплавленням.

До факторів, що ускладнюють виготовлення, належать значна довжина деталі, високі вимоги до співвісності, наявність кількох точних посадок кб, необхідність виконання ТВЧ-зміцнення та наявність шпонкового паза та різьби.

1.2 Технічний контроль робочого креслення деталі

Одним із важливих етапів технологічної підготовки виробництва є технічний контроль робочого креслення деталі. Метою контролю є перевірка повноти конструкторської документації, відповідності вимогам стандартів ЄСКД, достатності інформації для виготовлення та ремонту деталі, а також оцінка технологічності конструкції.

Об'єктом аналізу є деталь «Вал ОЛВ 52.19», виконана зі сталі С45 DIN EN 10083-2. На кресленні наведено всі необхідні проекції, перерізи та місцеві види, що забезпечують повне уявлення про конструкцію деталі та дозволяють однозначно визначити її геометричні параметри.

На кресленні вказані всі необхідні лінійні, діаметральні та осьові розміри. Загальна довжина деталі становить 1070 мм. Конструкція містить декілька ступінчастих циліндричних поверхонь, шпонковий паз, різьбову ділянку M90×2-8g, канавки для виходу інструмента та фаски. Розмірна схема побудована раціонально та забезпечує можливість виконання технологічних розрахунків і виготовлення деталі.

Для відповідальних посадочних поверхонь задані поля допусків: Ø90 k6, Ø100 k6, Ø85 h8.

Вказані допуски відповідають функціональному призначенню деталі та забезпечують необхідну точність з'єднань із суміжними елементами механізму.

На кресленні наведені вимоги до взаємного розташування поверхонь. Для окремих шийок встановлені допуски радіального биття 0,025 мм та 0,06 мм відносно базової осі. Такі вимоги свідчать про необхідність забезпечення високої співвісності посадочних поверхонь під час механічної обробки.

Шорсткість поверхонь задана відповідно до їх функціонального призначення. Для посадочних шийок встановлена шорсткість Ra 0,8, для менш відповідальних поверхонь - Ra 1,6; Ra 3,2; Ra 6,3 та Ra 12,5. Вказані значення можуть бути забезпечені шляхом застосування токарної та круглошліфувальної обробки.

На кресленні передбачена термічна обробка окремої ділянки вала струмами високої частоти. Встановлена твердість поверхневого шару 37–42 HRC при глибині зміцнення 1,2 мм. Ця вимога спрямована на підвищення зносостійкості найбільш навантаженої поверхні.

Матеріал деталі - сталь С45 - широко застосовується в машинобудуванні та характеризується достатньою міцністю, технологічністю та придатністю до відновлення методом автоматичного електродугового наплавлення.

Аналіз креслення показав, що деталь має достатньо високий рівень технологічності. Переважна більшість поверхонь є поверхнями обертання, що дозволяє виконувати основні операції на токарних верстатах. Конструкцією

передбачені технологічні фаски, канавки для виходу різального інструмента та зручні базові поверхні для механічної обробки.

За результатами технічного контролю встановлено, що робоче креслення містить усі необхідні дані для виготовлення та ремонту деталі, відповідає вимогам конструкторської документації та може бути використане для розроблення технологічного процесу відновлення валу методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу з подальшою механічною обробкою.

1.3 Аналіз хімічного складу та фізико-механічних властивостей сталі C45 DIN EN 10083-2

Сталь C45 згідно зі стандартом DIN EN 10083-2 належить до групи якісних конструкційних вуглецевих сталей, призначених для термічного поліпшення. Дана сталь широко застосовується для виготовлення валів, осей, зубчастих коліс, шпинделів, штоків, втулок та інших деталей машин, які працюють при середніх механічних навантаженнях і потребують підвищеної міцності та зносостійкості.

Хімічний склад сталі C45 характеризується підвищеним вмістом вуглецю, що забезпечує добру міцність та можливість термічного зміцнення. Відповідно до DIN EN 10083-2, хімічний склад сталі C45 має такі межі: вуглець (C) - 0,42–0,50 %, кремній (Si) - не більше 0,40 %, марганець (Mn) - 0,50–0,80 %, фосфор (P) - не більше 0,045 %, сірка (S) - не більше 0,045 %. Допускається наявність залишкових кількостей хрому, нікелю та міді.

Завдяки такому хімічному складу сталь C45 має оптимальне поєднання міцності, пластичності та оброблюваності різанням. Сталь добре піддається нормалізації, гартуванню та відпуску, що дозволяє значно підвищити її експлуатаційні характеристики.

Механічні властивості сталі C45 залежать від режиму термічної обробки та розмірів заготовки. Для стану постачання після нормалізації характерні такі показники: тимчасовий опір розриву σ_b - 570–700 МПа, межа текучості $\sigma_{0,2}$ - не

менше 340 МПа, відносне видовження δ_5 - не менше 16 %, твердість - 170–210 НВ. Після гартування та високого відпуску міцність і твердість сталі значно підвищуються.

Сталь С45 має добру оброблюваність на токарних та фрезерних верстатах, задовільну зварюваність при дотриманні спеціальних технологічних умов, а також достатню втомну міцність. Завдяки цьому вона широко використовується у машинобудуванні та ремонтному виробництві як аналог сталі 45 за ГОСТ 1050.

1.4 Аналіз ремонтної технологічності конструкції деталі

Значна частина оприскувачів виходить із ладу до вичерпання призначеного або міжремонтного ресурсу через вали. Тому серед інших деталей такого вузла відновленню підлягає згаданий вал. Вал належить до деталей які мають знос вище допуску, але придатні для ремонту. Якщо ступінь зношення його поверхонь перевищує 20% від допустимого то він відновленню не підлягає.

Одним із найважливіших етапів розроблення технологічного процесу відновлення є оцінка ремонтної технологічності конструкції деталі. Під ремонтною технологічністю розуміють сукупність конструктивних властивостей деталі, які забезпечують можливість її відновлення з мінімальними витратами праці, матеріалів та часу при збереженні експлуатаційних характеристик.

Об'єктом аналізу є деталь «Вал ОЛВ 52.19», виготовлена зі сталі С45, відновлення якої передбачається виконувати методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу з подальшою механічною обробкою.

Конструкція деталі характеризується переважанням циліндричних поверхонь обертання, що є однією з основних ознак високої ремонтної технологічності. Більшість робочих поверхонь являють собою ступінчасті шийки різного діаметра, які можуть бути легко відновлені шляхом нанесення додаткового шару металу з наступним відновленням номінальних розмірів механічною обробкою.

Аналіз робочого креслення показує, що найбільшому зношуванню в процесі експлуатації піддаються посадочні поверхні діаметрами $\varnothing 90k6$, $\varnothing 100k6$ та $\varnothing 85h8$. Дані поверхні мають правильну циліндричну форму та вільний доступ для наплавочного інструмента, що створює сприятливі умови для застосування автоматичного наплавлення під шаром флюсу.

Перевагою конструкції є значна довжина ремонтаних шийок, яка дозволяє забезпечити плавний вхід і вихід наплавочного валика та сформувати рівномірний шар металу без локальних перегрівів. Відсутність різких переходів між ремонтаними ділянками також сприяє підвищенню якості наплавлення та зменшенню концентрації напружень.

Для відновлення поверхонь доцільно застосовувати автоматичне електродугове наплавлення під шаром флюсу з використанням наплавочної головки ESAB A2 Multitrac SAW head, дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 $\varnothing 2$ мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71. Даний спосіб забезпечує високу продуктивність, стабільну якість наплавленого шару, незначні втрати металу та добру повторюваність результатів.

Суттєвою перевагою конструкції є можливість виконання наплавлення без складних пристроїв для позиціонування деталі. Вал може встановлюватися в центрах або патроні наплавочного верстата з обертанням навколо власної осі, що забезпечує рівномірне формування наплавленого шару по всій окружності шийки.

Після наплавлення конструкція деталі дозволяє виконати повний комплекс механічної обробки на стандартному металорізальному устаткуванні. Відновлені поверхні можуть бути оброблені точінням на токарних верстатах типу DMG MORI CLX 450 або аналогічних. Завдяки відносно невисокій твердості наплавленого металу (170–220 НВ) механічна обробка здійснюється без застосування спеціального різального інструменту.

Для забезпечення вимог креслення щодо точності посадок $k6$ та шорсткості поверхні $Ra 0,8$ після чистового точіння доцільно виконувати остаточне круглошліфування відповідних шийок. Наявність достатніх припусків

після наплавлення забезпечує можливість усунення похибок форми та досягнення необхідних параметрів точності.

Конструкція деталі також є сприятливою для виконання термічної обробки після наплавлення. Простота геометричної форми дозволяє здійснювати високий відпуск для зняття залишкових напружень без використання спеціального спорядження. Це особливо важливо для довгомірних валів, схильних до деформацій після зварювально-наплавочних процесів.

До факторів, які дещо ускладнюють ремонт, належать значна довжина вала (1070 мм), високі вимоги до співвісності посадочних поверхонь та наявність точних посадок кб. Для забезпечення необхідної точності необхідно виконувати механічну обробку від єдиних технологічних баз та застосовувати люнети під час точіння і шліфування.

Шпонковий паз, різьбова частина та технологічні канавки не створюють суттєвих труднощів під час відновлення, оскільки розташовані поза основними ремонттованими поверхнями та можуть бути відновлені традиційними методами механічної обробки.

Таким чином, аналіз конструкції деталі показав, що вал ОЛВ 52.19 має високий рівень ремонтної технологічності. Конструкція забезпечує можливість ефективного відновлення зношених посадочних поверхонь методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу з подальшим точінням, круглошліфуванням та контролем геометричних параметрів. Використання даної технології дозволяє відновити працездатність деталі при значно менших витратах порівняно з виготовленням нового вала.

1.5 Фізико-механічні властивості та оброблюваність наплавленого металу

Для відновлення поверхні вала застосовується автоматичне наплавлення під флюсом (SAW) із використанням наплавочного автомата А-384МК, наплавочної головки ESAB A2 Multitrac SAW head, суцільного зварювального

дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 діаметром 2 мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71. Дана технологія забезпечує формування рівномірного наплавленого шару з високими механічними властивостями та доброю якістю металу шва.

Наплавлений метал, сформований дротом класу EN ISO 14341-A G 42 4 M21 у поєднанні з флюсом ESAB OK Flux 10.71, за хімічним складом належить до низьковуглецевих низьколегованих сталей. Орієнтовний хімічний склад наплавленого металу становить: вуглець (C) - 0,07–0,12 %, кремній (Si) - 0,6–1,0 %, марганець (Mn) - 1,3–1,6 %, фосфор (P) - не більше 0,025 %, сірка (S) - не більше 0,025 %. Допускається незначний вміст залишкових легуючих елементів, таких як хром, нікель та мідь.

Завдяки такому складу наплавлений метал характеризується доброю пластичністю, достатньою міцністю та високою стійкістю до утворення тріщин. Після охолодження формується дрібнозерниста ферито-перлітна структура, яка забезпечує задовільні експлуатаційні характеристики та можливість подальшої механічної обробки.

Основні фізико-механічні властивості наплавленого металу мають такі орієнтовні значення: тимчасовий опір розриву σ_b - 500–560 МПа, межа текучості $\sigma_{0,2}$ - 420–460 МПа, відносне видовження δ_5 - 22–28 %, ударна в'язкість K_{CV} при температурі +20 °C - не менше 47 Дж, твердість - 170–220 НВ. Наплавлений шар має достатню зносостійкість та стійкість до динамічних навантажень.

Наплавлений метал добре піддається механічному обробленню різанням. Завдяки невисокій твердості та однорідній структурі забезпечується стабільне точіння і фрезерування без інтенсивного зношування різального інструменту. Обробка може виконуватись твердосплавним інструментом на токарних та фрезерних верстатах із використанням стандартних режимів різання для конструкційних сталей середньої міцності.

При точінні наплавленого шару спостерігається задовільне формування стружки та достатня чистота обробленої поверхні. Для чистової обробки рекомендується застосування збірних різців із твердосплавними пластинами класу ISO P20–P30. Фрезерування також не викликає технологічних ускладнень,

а отримана поверхня характеризується доброю якістю та стабільністю геометричних розмірів.

Таким чином, наплавлений матеріал, отриманий при автоматичному наплавленні під флюсом із використанням дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 та флюсу ESAB OK Flux 10.71, має задовільний комплекс механічних властивостей, добру технологічність та високу придатність до подальшої механічної обробки точінням і фрезеруванням.

1.6 Уточнення типу виробництва

Одним із методів визначення типу виробництва є використання таблиць значень маси деталі та програми випуску. У даному випадку для маси деталі $q_0 = 58$ кг та $N=10$ шт. і дійсного річного фонду часу роботи устаткування $F_0=4060$ тип виробництва нами визначено як одиничний.

1.7 Висновки та задачі проектування

У розділі виконано комплексний аналіз конструктивних, технологічних та експлуатаційних особливостей деталі «Вал ОЛВ 52.19», що дозволило оцінити можливість її ефективного відновлення в умовах ремонтного виробництва.

Аналіз робочого креслення показав, що деталь належить до класу тіл обертання та являє собою ступінчастий вал із декількома відповідальними посадочними поверхнями, шпонковим пазом, різьбовою ділянкою та поверхнями, які працюють в умовах значних статичних і динамічних навантажень. Конструкція валу характеризується високими вимогами до точності виготовлення, оскільки для окремих шийок встановлені посадки k6 та h8, допуски радіального биття до 0,025 мм і шорсткість поверхні до $Ra 0,8$.

Встановлено, що основними робочими поверхнями деталі є посадочні шийки $\varnothing 90k6$, $\varnothing 100k6$, $\varnothing 90k6$ та $\varnothing 85h8$, які під час експлуатації піддаються

інтенсивному зношуванню. Саме ці поверхні визначають працездатність валу та потребують відновлення під час ремонту.

Аналіз матеріалу деталі показав, що вал виготовлений зі сталі С45, яка характеризується достатнім рівнем міцності, доброю технологічністю, задовільною зварюваністю та придатністю до відновлення методами наплавлення. Механічні властивості сталі забезпечують можливість подальшої механічної обробки та отримання необхідних експлуатаційних характеристик після ремонту.

Проведений аналіз ремонтної технологічності підтвердив доцільність застосування автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу для відновлення зношених поверхонь вала. Конструкція деталі забезпечує вільний доступ до ремонтваних шийок, можливість рівномірного нанесення наплавленого металу та виконання подальшої механічної обробки на стандартному металорізальному устаткуванні.

Встановлено, що використання наплавочної головки ESAB A2 Multitrac SAW Head, суцільного дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71 дозволяє отримати якісний наплавлений шар із твердістю 170–220 HB та хорошою оброблюваністю різанням. Для забезпечення стабільності геометричних параметрів після наплавлення доцільним є проведення високого відпуску при температурі 600 °С з метою зняття залишкових напружень.

На підставі проведеного аналізу встановлено, що відновлення вала методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу є технічно обґрунтованим та економічно доцільним. Даний спосіб дозволяє відновити номінальні розміри посадочних поверхонь, забезпечити необхідну точність, зменшити витрати на ремонт і продовжити ресурс роботи деталі.

Враховуючи результати аналізу, для досягнення мети кваліфікаційної роботи необхідно вирішити такі задачі проектування:

- виконати дефектацію вала та визначити поверхні, що підлягають відновленню;
- обґрунтувати вибір способу автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу;

- розробити технологію наплавлення зношених посадочних поверхонь;
- визначити режими наплавлення та параметри термічної обробки після наплавлення;
- розробити технологічний маршрут відновлення деталі;
- виконати розрахунок міжопераційних розмірів і припусків на механічну обробку;
- розрахувати режими різання при фрезеруванні шпонкового паза;
- визначити сили різання, потужність та крутний момент під час фрезерування;
- виконати технічне нормування операції наплавлення;
- спроектувати спеціальне пристосування для закріплення вала під час фрезерування шпонкового паза;
- розробити контрольне пристосування для перевірки радіального биття посадочних шийок;
- виконати розрахунки точності та надійності спроектованого спорядження;
- розробити комплекс заходів з охорони праці, безпеки життєдіяльності та екологічної безпеки при реалізації запропонованої технології ремонту.

Реалізація поставлених задач дозволить розробити ефективний технологічний процес відновлення вала ОЛВ 52.19, який забезпечить отримання необхідних показників точності, якості поверхонь та експлуатаційної надійності відновленої деталі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Дефектація деталі

При дефектації при огляді та визначенні розмірів зношених циліндричних поверхонь використовують мікрометр Micrometer 75–100 mm / 0.01 mm DIN 863. Виміри здійснюють у трьох точках у двох перетинах. Для оцінювання ступеня зношення шпонкового пазу використовують накладну призму 567-980 з контрольним стержнем 670-345, комплект пластин 458-089, штангенциркуль Mitutoyo Vernier Caliper 160-130 та кільця 648-908. Виміри проводять за найбільшою глибиною западини.

Загальні незначні такі дефекти валу як механічні ушкодження задирки, заусенці, вибоїни чи раковини виправляють слюсарною обробкою надфілем чи шабером з наступним шліфуванням гнучкою наждаковою шкуркою №003-000.

У таблиці 2.1 показано технічні вимоги щодо дефектації й ремонт валу

Таблиця 2.1 - Технічні вимоги щодо дефектації й ремонт валу

Позна- чення пов.	Розміри зношених поверхонь		Технологія відновлення
	номіналь- ний	гранично допустимий	
1	4	5	8
19	$\varnothing 100^{+0,025}_{+0,03}$	$\varnothing 99,0$	Для незначних дефектів: слюсарна обробка надфілем чи шабером, шліфування гнучкою наждаковою шкуркою; для граничних дефектів: проточування, наплавлення, термооброблення, проточування, кругле шліфування (для пов. з кв. та полем допуску кб)
22	$\varnothing 90^{+0,025}_{+0,03}$	$\varnothing 88,0$	
12	$\varnothing 90^{-0,012}_{-0,034}$	$\varnothing 89,96$	
23	$\varnothing 80^{+0,021}_{+0,002}$	$\varnothing 79,0$	
17	$\varnothing 100^{-0,036}_{-0,071}$	$\varnothing 99$	

Закінчення таблиці 2.1

1	4	5	8
25	20 _{-0,055}	19,95	Фрезерування нового шпонкового пазу, зміщеного від існуючого в коловому напрямку на величину $\frac{1}{4}$ довжини твірної кола
26	M90×2		Проточування (повне зрізування) різі, наплавлення, термо-оброблення, нарізання різі
26	Tr70		

2.2 Технологія автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу

Для відновлення зношеної поверхні вала застосовується автоматичне електродугове наплавлення під шаром флюсу. Даний спосіб забезпечує високу продуктивність процесу, стабільну якість наплавленого металу та мінімальний вплив людського фактору. Наплавлення виконується на наплавочному автоматі А-384МК із використанням наплавочної головки ESAB A2 Multitrac SAW head, суцільного дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 діаметром 2 мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71.

Схему процесу автоматичного наплавлення під шаром флюсу наведено на рисунку 2.1. Під час наплавлення електродний дріт безперервно подається в зону горіння дуги спеціальним механізмом подачі. Електрична дуга горить між кінцем електродного дроту та поверхнею деталі під шаром гранульованого флюсу. Розплавлення електродного дроту та основного металу забезпечує формування наплавленого шару необхідної товщини.

На рисунку 2.1 позначено: 1 - наплавлювальна головка; 2 – електродна проволока (дріт); 3 - бункер із гранульованим флюсом; 4 - шар флюсу; 5 - вал, що підлягає наплавленню.

Під час роботи вал обертається, а наплавлювальна головка переміщується вздовж осі деталі, забезпечуючи формування рівномірного гвинтового валика наплавленого металу. Флюс ESAB OK Flux 10.71 виконує захисну функцію, ізолюючи зону горіння дуги від атмосферного повітря, а також стабілізує процес плавлення і сприяє формуванню якісного металу шва без пористості та неметалевих включень.

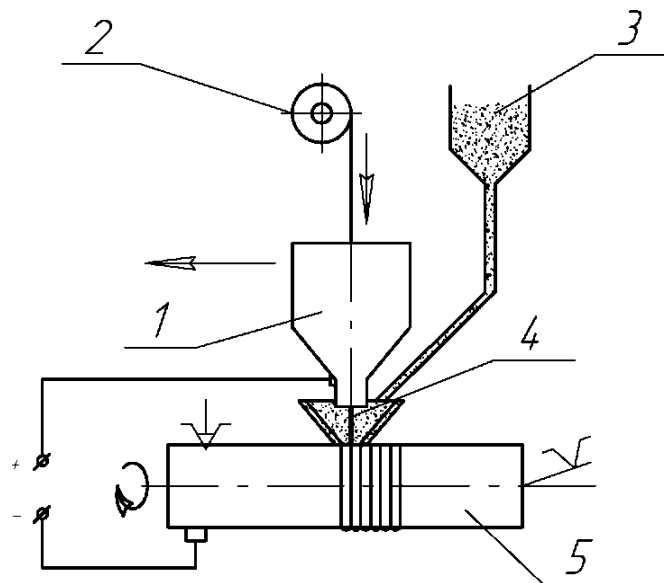


Рисунок 2.1 - Схема реалізації процесу автоматичного електродугового наплавлення вала під шаром флюсу

Дріт EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 мм забезпечує отримання низьковуглецевого наплавленого металу з добрими механічними властивостями та високою пластичністю. Наплавлений метал характеризується достатньою міцністю, стійкістю до утворення тріщин та доброю адгезією до основного металу.

У результаті автоматичного наплавлення формується рівномірний наплавлений шар із твердістю в межах 170–220 НВ, що відповідає приблизно 18–23 HRC. Така твердість забезпечує достатню зносостійкість поверхні та водночас дозволяє виконувати подальшу механічну обробку різанням без значного зношування інструменту.

Наплавлений шар добре піддається токарній та фрезерній обробці. Завдяки ферито-перлітній структурі наплавленого металу забезпечується стабільне формування стружки та отримання необхідної шорсткості поверхні. Для механічної обробки рекомендується застосовувати збірний твердосплавний інструмент із пластинами класу ISO P20–P30.

Автоматичне наплавлення під шаром флюсу характеризується високою продуктивністю, стабільною якістю наплавленого металу та низькими втратами електродного матеріалу, що робить даний спосіб ефективним для відновлення циліндричних деталей машин.

2.3 Термічна обробка після автоматичного електродугового наплавлення

Після відновлення зношених поверхонь вала методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу в металі наплавленого шару та прилеглих ділянках основного металу виникають значні внутрішні напруження. Їх поява обумовлена нерівномірним нагріванням і охолодженням металу під час процесу наплавлення.

Особливо актуальною дана проблема є для довгомірних деталей типу валів, у яких відношення довжини до діаметра перевищує 10. Для вала ОЛВ 52.19 загальна довжина становить 1070 мм при максимальному діаметрі 105 мм, тому навіть незначні залишкові деформації можуть призвести до порушення співвісності посадочних поверхонь та збільшення радіального биття.

Після завершення наплавлення у зоні термічного впливу формується неоднорідна структура металу, що характеризується підвищеним рівнем внутрішніх напружень. При подальшому механічному обробленні можливе викривлення деталі, що негативно впливає на точність відновлення посадочних поверхонь.

З метою стабілізації структури металу та зняття внутрішніх напружень після наплавлення виконується термічна обробка у вигляді високого відпуску.

Температура відпуску приймається $t = 580\text{--}620\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для даної технології доцільно прийняти $t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тривалість витримки визначається із розрахунку одна година на кожні 25 мм максимальної товщини перерізу деталі.

Для вала діаметром до 105 мм мінімальна тривалість витримки становить $\tau = 4$ год.

Після витримки деталь охолоджується разом із піччю до температури приблизно $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, після чого допускається охолодження на спокійному повітрі.

У результаті виконання високого відпуску досягається:

- зниження рівня залишкових напружень;
- стабілізація геометричних розмірів;
- зменшення ймовірності деформації при механічній обробці;
- підвищення втомної міцності відновленої деталі;
- покращення оброблюваності наплавленого шару різанням.

Після термічної обробки твердість наплавленого металу практично не змінюється та залишається в межах 170–210 НВ, що забезпечує добру оброблюваність точінням і фрезеруванням твердосплавним інструментом.

Таким чином, виконання високого відпуску після автоматичного електродугового наплавлення є необхідною технологічною операцією, яка забезпечує стабільність геометричних параметрів вала та створює умови для отримання необхідної точності під час подальшої механічної обробки.

2.4 Технологічний маршрут ремонту вала

Технологічна послідовність відновлення вала включає такі основні операції (табл. 2.2):

Дефектація деталі.

Механічна підготовка поверхонь під наплавлення.

Автоматичне електродугове наплавлення під шаром флюсу.

Високий відпуск при температурі $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Попереднє чорнове точіння наплавлених поверхонь.

Півчистове і чистове точіння посадочних шийок.

Фрезерування шпонкового паза.

Кругле зовнішнє шліфування.

Контроль геометричних параметрів та шорсткості поверхонь.

Для забезпечення точності посадочних поверхонь $\varnothing 90k6$ та $\varnothing 100k6$ після відновлення методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу до технологічного процесу включено операцію круглого зовнішнього шліфування. Необхідність шліфування обумовлена високими вимогами до точності розмірів, шорсткості поверхні та співвісності посадочних шийок.

Відзначимо, що після наплавлення і навіть після чистового точіння на сучасному токарному верстаті типу DMG MORI CLX 450 отримати розмірний допуск $k6$ теоретично можливо. Проте для ремонтної технології є інша проблема — забезпечення одночасно точності розміру $k6$, $Ra 0,8$, биття $0,025$ мм та стабільності геометрії після наплавлення.

Для посадочних шийок під підшипники або маточини в ремонтному виробництві зазвичай застосовують маршрут:

Наплавлення → Відпуск → Попереднє точіння → Чистове точіння → Кругле шліфування → Контроль

Саме круглошліфування дозволяє гарантовано отримати $IT6$, $Ra 0,32-0,8$, високу круглість та необхідну співвісність усіх шийок.

Тому після наплавлення та термічної обробки виконується попереднє і чистове точіння із залишенням припуску під шліфування величиною $0,15-0,30$ мм на сторону. Остаточне формування посадочних поверхонь здійснюється на круглошліфувальному верстаті, що дозволяє забезпечити поле допуску $k6$, шорсткість поверхні $Ra 0,8$ і менше, а також виконати вимоги щодо радіального биття не більше $0,025$ мм.

Застосування круглошліфувальної операції підвищує точність відновлення деталі та забезпечує відповідність відремонтованого вала вимогам робочого креслення.

Таблиця 2.2 – Маршрут ремонту валу

№ опер.	Назва операції	Короткий опис	Технологічне	
			Устаткування	спорядження та інструменти
1	2	3	4	5
001	Переміщення	Транспортувати деталі на ремонтно-механічну дільницю	Електрокара ЕК-2	Піддон 4590-457
002	Промивання	Промивання в гасі	Ванна 234-768	Ганчір'я ТУ 63-178-82.
003	Дефектація	Огляд деталі, виявлення стану зношення поверхонь: $\varnothing 100^{+0,025}_{+0,03}$; $\varnothing 90^{+0,025}_{+0,03}$; $\varnothing 90^{-0,012}_{-0,034}$; $\varnothing 80^{+0,03}$; $20_{-0,055}$; $\varnothing 100^{-0,036}_{-0,071}$; M90×2	Стіл 560-487	Накладна призма 567-980 з контрольним стержнем 670-345, micrometer 75–100 mm / 0.01 mm DIN 863, комплект пластин 458-089, штангенциркуль Mitutoyo Vernier Caliper 160-130, кільця 648-908.
005	Переміщення	Транспортувати деталі на дільницю механічного оброблення	Електрокара ЕК-2	Піддон 4590-457

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
010	4114 Токарно-гвинторізна	Точіння поверхонь під наплавлення за два установи	Універсальний токарно-гвинторізний верстат типу TOS SN50	Різець Sandvik Coromant CoroTurn SDJCR + DCMT. Навушники 3М Peltor Optime I/II/III. Патрон токарний трикулачковий самоцентрувальний Röhм DURO-NC 315, DIN 6350, Ø315 мм. Центр верстатний обертний Röhм 609 MT5, DIN 806, максимальне навантаження 1200 кг, точність обертання 0,005 мм, штангенциркуль Mahr MarCal 16 FN 250 DIN 862
015	Наплавлення	Автоматичне електродугове наплавлення під шаром флюсу	Автомат наплавлювальний під флюсом (SAW), тип ESAB A2-A6	Наплавочна головка ESAB A2 Multitrac SAW head, суцільний дріт EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 mm, флюс ESAB OK Flux 10.71 (SAW flux, F7A2-A2). Навушники 3М Peltor Optime I/II/III
020	Термооброблення	Високий відпуск при температурі 600 °С	Піч 345-876	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
025	4114 Токарно-гвинторізна	<p>Чорнове точіння наплавлених поверхонь за два установи.</p> <p>Послідовне чорнове точіння поверхонь.</p> <p>Перевстановлення деталі. Послідовне чорнове точіння поверхонь</p>	Універсальний токарно-гвинторізний верстат типу TOS SN50	<p>Патрон токарний трикулачковий самоцентрувальний Röhм DURO-NC 315, DIN 6350, Ø315 мм. Центр верстатний обертовий Röhм 609 MT5, DIN 806, максимальне навантаження 1200 кг, точність обертання 0,005 мм. Збірний прохідний токарний різець ISCAR SDJCR holder зі змінною твердосплавною пластиною DCMT insert Навушники 3М Peltor Optime I/II/III, штангенциркуль Mahr MarCal 16 FN 250 DIN 862</p>
030	4114 Токарно-гвинторізна	<p>Півчистове точіння наплавлених поверхонь за два установи.</p> <p>Послідовне півчистове точіння поверхонь.</p> <p>Перевстановлення оброблюваного валу. Послідовне півчистове точіння поверхонь</p>	Універсальний токарно-гвинторізний верстат типу TOS SN50	<p>Патрон токарний трикулачковий самоцентрувальний Röhм DURO-NC 315, DIN 6350, Ø315 мм. Центр верстатний обертовий Röhм 609 MT5, DIN 806, максимальне навантаження 1200 кг, точність обертання 0,005 мм. Збірний прохідний токарний різець Kennametal Top Notch / ISO turning system. Штангенциркуль Mitutoyo Vernier Caliper 160-130, 0–250 mm, 0.05 mm. Outside Micrometer 75–100 mm / 0.01 mm DIN 863. Навушники 3М Peltor Optime I/II/III</p>

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
035	4114 Токарна з ЧПК	Чистове точіння наплавлених поверхонь. Послідовне чистове точіння поверхонь. Перевстановлення деталі. Послідовне чистове точіння поверхонь. Нарізання різі M20 на довжину L=55.0	Токарний оброблювальний центр з ЧПК DMG MORI CLX 450	Гідравлічний трьохкулачковий патрон Kitagawa B-315. Обертний центр ROHM RZM MT5 для токарних верстатів з ЧПК. Збірний прохідний токарний різець SDJCR 2525M11 зі змінною твердосплавною пластиною DCMT 11T304. Outside Micrometer 75–100 mm / 0.01 mm DIN 863
040	Вертикально-фрезерна	Фрезерування шпонкового пазу	Універсальний вертикально-фрезерний верстат типу Bridgeport I. Аналоги: TOS FA3V Universal Vertical Milling Machine; KNUTH Servomill UWF 120	Пристосування фрезерне КРБ 22-761.05.00 СК; Кінцева твердосплавна шпонкова фреза Ø20 мм (DIN 844 / ISO 1641). Навушники 3M Peltor Optime I/II/III

Закінчення таблиці 2.2

1	2	3	4	5
045	Слюсарна	Зачищування гострих крайок. Периметр зачищування – 80 мм	Верстак. 789045722А-392, тара 780-3790220.	Напильник 468 ГОСТ1465-80. Распиратор «Сніжок-П» ТУ 84-1013-84. Ганчір'я ТУ 63-178-82. Навушники 3М Peltor Optime I/II/III
050	Кругло-шліфувальна	Шліфування посадочних шийок Ø90k6 та Ø100k6	Кругло-шліфувальний верстат моделі 3А174Б.	Круг шліфувальний Ø 180 мм × 20 мм Master Abrasives (EN 12413). Оправка 680-693. Outside Micrometer 75–100 mm / 0.01 mm DIN 863
055	Промивання		Ванна 290-487	Ганчір'я ТУ 63-178-82
060	Контрольна	Контроль розмірів і радіального биття	Стіл контрольний 359-568	Пристосування контрольне для вимірювання радіального биття КРБ 22-761.06.00 СК; Outside Micrometer 75–100 mm / 0.01 mm DIN 863, штангенциркуль Vernier Caliper 0–500 mm / 0.05 mm DIN 862
065	Консервація.	Обдування стисненим повітрям. Змащення солідолом. $S_{зм} = 3,5 \text{ м}^2$	Установка 490-671	Солідол "Ж" ГОСТ 1033-79. Ганчір'я ТУ 63-178-82

2.5 Розрахунок режимів різання при нарізанні шпонкового пазу

2.5.1 Вихідні дані

Обробка виконується на універсальному вертикально-фрезерному верстаті Bridgeport Series I. Інструмент – кінцева твердосплавна шпонкова фреза Ø20 мм (DIN 844 / ISO 1641).

Матеріал деталі – вал зі сталі С45, відновлений автоматичним електродуговим наплавленням під шаром флюсу із застосуванням дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71.

Твердість наплавленого шару становить 170–220 НВ. Довжина шпонкового паза: $L = 100$ мм. Ширина паза: $B = 20$ мм. Глибина паза приймається: $t = 6$ мм.

Фрезерування виконується за один прохід по ширині паза.

2.5.2 Вибір швидкості різання

Для твердосплавної кінцевої пазової фрези при обробці низьковуглецевого наплавленого металу твердістю до 220 НВ рекомендована швидкість різання: $V_c = 120$ м/хв.

2.5.3 Визначення частоти обертання шпинделя

Частота обертання визначається за формулою:

$$n = (1000 \cdot V_c) / (\pi \cdot D),$$

де $V_c = 120$ м/хв;

$D = 20$ мм.

Після підстановки:

$$n = (1000 \cdot 120) / (3,14 \cdot 20) = 1910 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо найближчу стандартну частоту обертання верстата: $n = 1900 \text{ хв}^{-1}$.

2.5.4 Визначення подачі

Для шпонкової фрези $\varnothing 20$ мм приймаємо: кількість зубів $z = 3$; подача на зуб $S_z = 0,08$ мм/зуб.

Тоді хвилинна подача:

$$S_{xв} = S_z z n; S_{xв} = 0,08 \cdot 3 \cdot 1900 = 456 \text{ мм/хв.}$$

Приймаємо $S_{xв} = 450$ мм/хв.

2.5.5 Визначення довжини робочого ходу

Повна довжина переміщення інструмента:

$$L_p = L + l_{вр} + l_{пер},$$

де $L = 100$ мм – довжина паза;

$l_{вр} = 10$ мм – врізання;

$l_{пер} = 10$ мм – перебіг.

Тоді $L_p = 100 + 10 + 10 = 120$ мм.

2.5.6 Основний машинний час

Основний час визначається за формулою:

$$T_o = L_p / S_{xв}; T_o = 120 / 450 = 0,267 \text{ хв} = 16 \text{ с.}$$

2.5.7 Допоміжний час

До допоміжного часу входять: установлення деталі; базування; закріплення; підведення інструмента; контроль розмірів.

Для одиничного та дрібносерійного виробництва приймається:

$$T_{\partial} = 2,5 \text{ хв.}$$

Оперативний час

$$T_{on} = T_o + T_{\partial} = 0,267 + 2,5 = 2,767 \text{ хв.}$$

Додатковий час

На обслуговування робочого місця та відпочинок оператора приймають $\alpha = 8\%$.

$$T_{\partial\partial\partial} = 0,08 T_{on} = 0,221 \text{ хв.}$$

Штучний час

$$T_{шт} = T_{on} + T_{\partial\partial\partial}$$
$$T_{шт} = 2,767 + 0,221 = 2,99 \text{ хв.}$$

Норма часу

Норма часу на фрезерування одного шпонкового паза довжиною 100 мм становить:

$$T_n = 3,0 \text{ хв/шт.}$$

Таким чином, для фрезерування шпонкового паза шириною 20 мм і довжиною 100 мм у наплавленому шарі, отриманому автоматичним наплавленням під шаром флюсу, рекомендовано використовувати частоту обертання шпинделя 1900 хв^{-1} та подачу 450 мм/хв. Розрахована норма часу на виконання операції становить 3,0 хв на одну деталь.

2.6 Розрахунок сили різання

Для визначення навантаження на інструмент та верстат при фрезеруванні шпонкового паза виконується розрахунок сили різання аналітичним методом.

Обробка здійснюється на універсальному вертикально-фрезерному верстаті Bridgeport Series I кінцевою твердосплавною шпонковою фрезею $\varnothing 20$

мм. Матеріал оброблюваної поверхні являє собою наплавлений шар, отриманий автоматичним електродуговим наплавленням під шаром флюсу дротом EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 мм із використанням флюсу ESAB OK Flux 10.71. Твердість наплавленого металу становить 170–220 НВ.

Вихідні дані: діаметр фрези: $D = 20$ мм, ширина паза $B = 20$ мм, глибина різання $t = 6$ мм, подача на зуб $S_z = 0,08$ мм/зуб, кількість зубів $z = 3$.

Для низьковуглецевих конструкційних сталей твердістю до 220 НВ питомий опір різанню становить $k_c = 1800$ Н/мм².

Середня товщина зрізуваного шару визначається за формулою:

$$h = S_z \cdot (t/D)^{0.5}$$

Після підстановки значень визначено $h = 0,044$ мм.

Середня площа зрізу одним зубом:

$$A = B \cdot h = 20 \cdot 0,044 = 0,88 \text{ мм}^2$$

2.6.1 Розрахунок колової сили різання

Колова сила різання визначається залежністю:

$$F_c = k_c \cdot A$$

Після підстановки отримуємо $F_c = 1800 \cdot 0,88 = 1584$ Н.

Отже, $F_c \approx 1,58$ кН.

Для практичних інженерних розрахунків приймаємо $F_c = 1,6$ кН.

За відомим радянським аналітичним способом розрахунку сили різання маємо

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{d_a^q \cdot n^w} k_{MP}; \quad k_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^{n1}$$

$$k_{MP} = \left(\frac{1130}{750} \right)^{0,3} = 1,13; P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 7^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 20 \cdot 2}{20^{0,86} \cdot 315^0} \cdot 1,13 = 2187 \text{ Н,}$$

де $n = 315$ об/хв; $nI = 0,3$; $C_p = 62,8$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1,1$; $q = 0,86$; $w = 0$.

Отримані значення є завищеними та не враховують особливості наплавлено матеріалу.

Визначення радіальної сили

Радіальна сила при фрезеруванні становить приблизно 30–40 % від колової сили. Приймаємо:

$$F_r = 0,35F_c; F_r = 0,35 \cdot 1584 = 554 \text{ Н} \approx 0,55 \text{ кН}$$

2.6.2 Визначення осьової сили

Осьова сила для кінцевих фрез становить приблизно 20–30 % від значення колової сили.

$$F_a = 0,25F_c; F_a = 0,25 \cdot 1584 = 396 \text{ Н} \approx 0,40 \text{ кН}$$

2.6.3 Розрахунок потужності різання

Швидкість різання:

$$V_c = 120 \text{ м/хв}$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N = F_c \cdot V_c / (60000); N = 1584 \cdot 120 / 60000 = 3,17 \text{ кВт}$$

З урахуванням коефіцієнта корисної дії верстата $\eta = 0,8$ необхідна потужність приводу:

$$N_{np} = N / \eta; N_{np} = 3,17 / 0,8 = 3,96 \text{ кВт}$$

2.6.4 Розрахунок крутного моменту на шпинделі фрези

Одним із важливих параметрів, що характеризують навантаження на привід верстата та різальний інструмент, є крутний момент на шпинделі фрези.

Його величина визначається за розрахованою коловою силою різання.

З попереднього розрахунку отримано: колова сила різання $F_c = 1584$ Н, діаметр фрези $D = 20$ мм, радіус фрези $R = D/2 = 10$ мм = 0,01 м.

Крутний момент визначається за формулою:

$$M = F_c R,$$

де M — крутний момент на шпинделі, Н·м;

F_c — колова сила різання, Н;

R — радіус фрези, м.

Після підстановки числових значень одержуємо:

$$M = 1584 \cdot 0,01 = 15,84 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Для перевірки правильності розрахунку скористаємося залежністю між потужністю, частотою обертання та крутним моментом:

$$M = (9550N)/n,$$

де $N = 3,17$ кВт — потужність різання;

$n = 1900$ хв⁻¹ — частота обертання шпинделя.

Після підстановки:

$$M = (9550 \cdot 3,17) / 1900 = 15,94 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Отримане значення практично збігається з попереднім розрахунком, що підтверджує правильність визначення крутного моменту.

Таким чином, при фрезеруванні шпонкового паза шириною 20 мм та глибиною 6 мм у наплавленому шарі, отриманому автоматичним наплавленням під шаром флюсу, колова сила різання становить приблизно 1,6 кН, радіальна сила – 0,55 кН, осьова сила – 0,40 кН, на шпинделі фрези виникає крутний момент $M = 16$ Н·м.

Необхідна потужність різання становить близько 4 кВт, що не перевищує технічних можливостей універсального вертикально-фрезерного верстата Bridgeport Series I та забезпечує стабільне виконання технологічної операції. Також отримане значення крутного моменту є значно меншим від допустимого крутного моменту приводу універсального вертикально-фрезерного верстата

Bridgeport Series I, що забезпечує надійну та стійку роботу устаткування під час виконання технологічної операції.

2.7 Розрахунок технологічних режимів наплавлення

На рисунку 2.2 проілюстровано геометричні параметри оброблюваного валу після наплавлення, які пов'язані з особливостями технологічних режимів такого процесу.

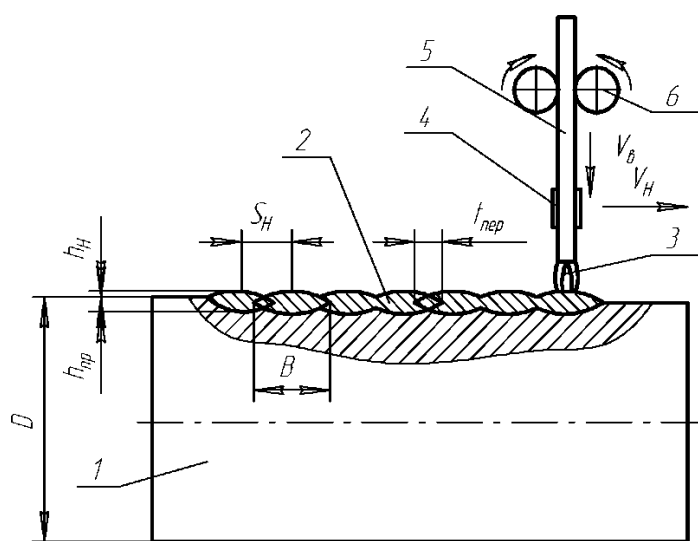


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема процесу наплавлення

На згаданому рисунку 2.2 позначено: 1 – наплавлюваний вал; 2 – шар наплавленого матеріалу; 3 – електрична дуга; 4 – мундштук установки; 5 – довгомірний електрод; 6 – механізм подавання електроду; 7 – величина зміщення електрода від zenіту; 8 – виліт електроду.

Розрахунок технологічних режимів наплавлення подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.3 - Розрахунок технологічних режимів наплавлення

№	Параметр розрахунку режимів наплавлення	Аналітична формула та розрахунок
1	2	3
1	Висота наплавлення	$h = z_{\max} + z$; $h = 1,5 + 6,17 = 9,17$ мм Тут z_{\max} - максимальний знос, z - припуск на обробку.
2	Діаметр електродного дроту	$d_e = 2,0$ мм
3	Швидкість подачі електродного дроту	$v_e = 104$ м/хв
4	Питома маса електродного дроту	$\gamma_e = 7,8 \cdot 10^{-6}$ г/мм ³
5	Маса електродного дроту, який подається за одиницю часу механізмом подачі	$m_e = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot v_e \cdot \lambda_e$; $m_e = \frac{3,14 \cdot 90^2}{4} \cdot 104 \cdot 7,8 \cdot 10^{-6} = 5,15$ кг
6	Коефіцієнт розплавлення металу електродного дроту	$\alpha_p = 1,1$
7	Сила струму для наплавлення.	$I_H = 250$ А
8	Умова розплавлення	$m_e^P = \alpha_p \cdot I_H$
9	Питома маса наплавленого металу	γ_{HM}
10	Швидкість наплавлення (колова швидкість деталі)	$v_H = 16$ м/хв
11	Крок наплавлення тобто крок поздовжньої подачі електрода	$S_H = 4,0$ мм
12	Висота наплавленого шару	$h_H = 3,0$ мм

Закінчення таблиці 2.3

1	2	3
13	Маса об'ємного елемента наплавленого шару з прямокутним профілем у поперечному його перерізі $S_H \times h_H$ і довжиною, яка дорівнює швидкості наплавлення.	$m_H = S_H \cdot h_H \cdot v_H \cdot \gamma_{HM};$ $m_H = 4 \cdot 3 \cdot 16 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 3,27 \text{ г}$
14	Номінальний діаметр деталі	D_D
15	Частота обертання валу у хв. ⁻¹ . Швидкість наплавлення дорівнює коловій швидкості обертання вала.	<p>Із формули $v_H = \frac{\pi \cdot D_D \cdot n \cdot 60}{1000}$ отримуємо</p> $n = 5,31 \cdot \frac{v_D}{D_D}; n = 5,31 \cdot \frac{16}{90} = 0,98 \text{ об/хв}$
16	Зміщення електроду із zenіту у бік, протилежний до напрямку обертання вала.	$e = 6,0 \text{ мм}$
17	Виліт електрода (довжина вільного кінця від мундштука)	12,0 мм
18	Умова забезпечення щільності наплавленого, шару та згладжування нерівностей	Кожний наступний валик наплавленого матеріалу повинен перекивати, попередній на 0,3...0,5 частки від своєї ширини

2.8 Технічне нормування операції наплавлення

Розрахунок показників технічного нормування операції наплавлення подано у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок показників технічного нормування операції наплавлення

№	Параметр технічного нормування	Аналітична формула та розрахунок
1	2	3
1	Довжина наплавленої поверхні деталі, мм	$\ell = 372,0$
2	Кількість наплавлених деталей у партії, шт.	$n = 10$
3	Основний час, хв	$T_0 = \frac{\pi \cdot d \cdot \ell}{1000 \cdot V_n \cdot S};$ $T_0 = \frac{3,14 \cdot 90 \cdot 372}{1000 \cdot 30 \cdot 4} = 1,64200 = 98,56$
4	Допоміжний час, хв	$T_{дон} = 7,0$
5	Коефіцієнт, що враховує частку додаткового часу від зведеної суми основного і допоміжного часів	$K = 10\%$
6	Підготовче-заклучний час, хв	$T_{нз} = 24,0$
7	Оперативний час, хв	$T_{он} = 98,56 + 7 = 105,56$
8	Додатковий час, хв	$T_{доод} = T_{он} \cdot \frac{K}{100} \quad T_{доод} = 105,56 \cdot \frac{10}{100} = 10,55$
9	Норма часу на виконання наплавочних робіт, хв	$T_n = T_0 + T_{дон} + T_{доод} + \frac{T_{нз}}{n};$ $T_n = 98,56 + 7 + 10,55 + \frac{24}{10} = 118,51.$

2.9 Розрахунок міжопераційних розмірів і припусків для відновлюваних поверхонь

Методику та послідовність розрахунків відображено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок міжопераційних розмірів і припусків для відновлюваних поверхонь

№	Параметр	Аналітична формула та розрахунок
1	2	3
1	Номінальний діаметр вала	$d_{h.\max} = 90,025$ мм
2	Допуск на ремонт	$a_p = 22,0$ мкм
3	Нижнє відхилення допуску на виготовлення	$ei = 0,003$ мм
4	Діаметр зношеного валу в посадковому місці 3 підшипником $\varnothing 90 k6^{(+0,025)}_{(+0,03)}$	$d_3 = d_{h.\max} - a_p \cdot ei$; $d_3 = 90,025 - 22 \cdot 0,003 = 89,95$
5	Дефектний шар зношеної поверхні	$T_3 = 2,0$ мм
6	Значення параметра шорсткості зношеної поверхні	80 мкм
7	Припуск на попереднє механічне оброблення	$2z' = 2(R_{z3} + T_3)$; $2z' = 2(0,08 + 2,0) = 4,16$
8	Діаметр валу після попереднього механічного оброблення перед відновленням	$d_{n.o.} = d_3 - 2z'$; $d_{n.o.} = 90 - 4,16 = 85,84$ мм
9	Дефектний шар після чистового оброблення відновленої деталі	$T_{ч.о.} = 0,130$ мм
10	Значення параметра шорсткості поверхні після чистового оброблення	$R_{zч.о.} = 20,0$ мкм
11	Припуск на тонке точіння валу	$2z'' = 2(R_{zч.о.} + T_{ч.о.})$; $2z'' = 2(0,002 + 0,13) = 0,3$ мм
12	Діаметр після чистового токарного оброблення	$d_{Т.Т.} = d_H + 2z''$; $d_{Т.Т.} = 90 + 0,3 = 90,3$ мм
13	Дефектний шар після напівчистового оброблення відновленого валу	$T_{H.T.} = 0,40$ мм

Закінчення таблиці 2.5

1	2	3
14	Значення параметра шорсткості поверхні після напівчистового оброблення	$R_{z_{H.T.}}=40$ мкм
15	Сумарний припуск на чистову механічну обробку вала	$2z''' = 2(R_{z_{H.T.}} + T_{H.T.});$ $2z''' = 2(0,04 + 0,4) = 0,88$ мм
16	Розмір вала після його напівчистового оброблення	$d_{H.T.} = d_{H.T.} + 2z''';$ $d_{H.T.} = 90,3 + 0,88 = 91,18$ мм $d_{H.T.}$ – діаметр відновленої деталі після напівчистового оброблення.
17	Дефектний шар після чорного оброблення відновленого вала	$T_{H.чорн.}=1,3$ мм
18	Значення параметра шорсткості поверхні після чорного оброблення	$R_{z_{чорн.}}=80$ мкм
19	Сумарний припуск на напівчистове механічне оброблення (напівчистове точіння) вала	$2z'''' = 2(R_{z_{чорн.}} + T_{H.чорн.});$ $2z'''' = 2(0,08 + 1,3) = 2,76$ мм
20	Розмір вала після оброблення	$d_{H.T.} = d_{чорн.} + 2z'''';$ $d_{H.T.} = 91,18 + 2,76 = 93,94$ мм $d_{чорн.}$ – діаметр відновленої деталі після чорного оброблення
21	Шорсткість відновленої поверхні	$R_{zB}=320$ мкм
22	Дефектний шар відновленої поверхні	$T_B=1,8$ мм
23	Припуск на чорнове механічне оброблення відновленого вала	$2z'''' = 2(R_{zB} + T_B)$
24	Діаметр деталі після відновлення	$d_B = d_{ч} + 2z'''';$ $d_B = 93,94 + 4,24 = 98,18$ мм
	Товщина нарощування шару при відновленні вала	$h = \frac{d_B - d_{n.o.}}{2} = \frac{98,18 - 85,84}{2} = 6,17$ мм

Таблиця 2.6 – Зведена таблиця результатів розрахунку припусків на оброблення та граничних розмірів за технологічними переходами

Технологічні операції оброблення поверхні $\varnothing 90 \text{ k}6^{+0,025}_{+0,03}$	Квалітет точності	Параметр шорсткості R_z , мкм	Значення припуску на оброблення $2Z_i$ у мкм	Допуск проміжних розмірів у мкм	Проміжні розміри заготовки за переходами у мкм
Чорнове точіння	14	80	4,160	870,0	$\varnothing 85,84_{-0,87}$
Електродугове наплавлення під шаром флюсу	15	320	12,340	1400,0	$\varnothing 98,18_{-1,1}$
Чорнове точіння	14	80	4,240	870,0	$\varnothing 93,94_{-0,87}$
Точіння напівчистове	10	40	2,760	140,0	$\varnothing 91,18_{-0,14}$
Точіння чистове	8	20	0,880	54,0	$\varnothing 90,30_{-0,54}$
Кругле шліфування	6	10	0,30	22,0	$\varnothing 90^{+0,025}_{+0,03}$

2.10 Висновки до розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи розроблено технологічний процес відновлення вала ОЛВ 52.19 методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу з подальшою механічною обробкою відновлених поверхонь.

На основі результатів дефектації визначено перелік поверхонь, що підлягають відновленню, та встановлено характер їх зношування. Аналіз технічного стану деталі підтвердив доцільність використання ремонтної

технології, яка дозволяє відновити працездатність вала без виготовлення нової деталі.

Обґрунтовано застосування автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу як основного способу відновлення посадочних шийок. Для реалізації процесу обрано сучасне наплавочне устаткування ESAB A2 Multitrac SAW Head із використанням суцільного дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71, що забезпечує високу продуктивність, стабільність процесу та отримання якісного наплавленого шару.

Розроблено технологію автоматичного наплавлення та обґрунтовано необхідність проведення термічного оброблення після наплавлення. Для зняття залишкових напружень і стабілізації геометричних параметрів деталі прийнято високий відпуск при температурі 600 °C з подальшим охолодженням разом із піччю.

Сформовано технологічний маршрут ремонту вала, який включає операції дефектації, підготовки поверхонь під наплавлення, автоматичного наплавлення, термічної обробки, токарної, фрезерної та круглошліфувальної обробки, а також контроль геометричних параметрів готової деталі.

Для виконання шпонкового паза розраховано режими різання при фрезеруванні на універсальному вертикально-фрезерному верстаті типу Bridgerport I із застосуванням кінцевої твердосплавної шпонкової фрези Ø20 мм. Визначено раціональні значення швидкості різання, частоти обертання шпинделя, подачі та тривалості виконання операції.

Виконано аналітичний розрахунок сил різання під час фрезерування шпонкового паза. Визначено колову та осьову складові сили різання, потужність різання та крутний момент на шпинделі фрези. Отримані результати підтвердили можливість виконання операції на обраному устаткуванні без перевантаження приводу верстата.

Розраховано технологічні режими автоматичного наплавлення та виконано технічне нормування наплавочної операції. Отримані значення забезпечують необхідну продуктивність процесу та якість відновленого шару металу.

Також виконано розрахунок міжопераційних розмірів і припусків для відновлюваних поверхонь, що дозволило забезпечити раціональний розподіл припусків між операціями точіння та круглого шліфування й гарантувати досягнення вимог креслення щодо точності розмірів, шорсткості поверхні та радіального биття.

У результаті проведених технологічних розрахунків розроблено повний технологічний процес відновлення вала ОЛВ 52.19, який забезпечує отримання посадочних поверхонь із точністю k6 та h8, шорсткістю до $Ra\ 0,8$ і необхідними експлуатаційними характеристиками. Запропонована технологія є технічно обґрунтованою, забезпечує високу якість ремонту та дозволяє значно знизити витрати порівняно з виготовленням нової деталі.

Розроблений ТП відображений у комплекті технологічної документації ремонту вала, який поданий у додатку.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Проектування технологічного спорядження КРБ 22-761.05.00 СК для універсального вертикально-фрезерного верстату типу Bridgeport I

Для забезпечення необхідної точності оброблення ремонтного вала при фрезеруванні шпонкового паза розроблено спеціальне фрезерне пристосування КРБ 22-761.05.00 СК. Відповідно до складального креслення, пристосування призначене для встановлення та закріплення деталі типу «вал» на універсальному вертикально-фрезерному верстаті типу Bridgeport. Оброблюючий інструмент - кінцева твердосплавна шпонкова фреза Ø20 мм (DIN 844 / ISO 1641). Довжина пазу 100мм. Поверхню валу на якому нарізають шпонковий баз попередньо було наплавлено матеріал способом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу (суцільний дріт EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 mm, флюс ESAB OK Flux 10.71 (SAW flux, F7A2-A2)).

Основним призначенням пристрою є забезпечення надійного базування деталі, підвищення точності взаємного розташування оброблюваних поверхонь та скорочення допоміжного часу на виконання операції фрезерування шпонкового паза. Спосіб фрезерування – маятниковий. Розміщення оброблюваної деталі – в призмах.

Режими різання описано у попередньому розділі.

3.1.1 Опис пристрою КРБ 22-761.05.00 СК для закріплення вала на універсальному вертикально-фрезерному верстаті типу Bridgeport I

Конструкція пристрою складається з корпусних та стандартних елементів. До основних деталей належать плита (поз. 1), призма (поз. 2), упор (поз. 3), призма 1 (поз. 4), стійка (поз. 5) та пружини (поз. 6). Крім того, у конструкції використовуються стандартні кріпильні та установчі елементи: болти, гвинти, гайки, шпонки, штифти, прихват, опори та шпилька.

Основою пристрою є плита, яка встановлюється на робочому столі верстата та фіксується за допомогою шпонок і кріпильних елементів. Для забезпечення точного орієнтування пристрою відносно пазів столу застосовуються дві шпонки. Згідно з технічними вимогами складального креслення, допуск паралельності загальної осі призм відносно базової поверхні та шпонок становить 0,1 мм. Це забезпечує необхідну точність розташування осі деталі щодо координатної системи верстата.

Базування ремонтного вала здійснюється по двох призмах, які утворюють установчу базу для циліндричної поверхні деталі. Використання призматичних опор забезпечує самоустановлення вала по осі та рівномірний розподіл навантаження в зоні контакту. Така схема базування відповідає принципу шести точок і дозволяє надійно обмежити переміщення заготовки в просторі.

Осьове положення деталі визначається за допомогою упору, який сприймає осьові зусилля та забезпечує стабільність положення вала під час оброблення. Після встановлення на призми вал притискається прихватом через систему опор і шпильки. Затискний механізм створює необхідне зусилля притиснення, яке перешкоджає зміщенню заготовки під дією сил різання.

Ремонтний вал має загальну довжину 1070 мм та максимальний діаметр 100 мм, що обумовлює необхідність застосування двох призматичних опор для забезпечення достатньої жорсткості технологічної системи під час оброблення. Матеріалом вала є сталь С45, яка характеризується достатньою міцністю та хорошою оброблюваністю різанням.

Розроблене пристосування забезпечує точне базування ремонтного вала відносно осі оброблення, надійне закріплення заготовки під час фрезерування шпонкового паза, швидке встановлення та зняття деталі, підвищення продуктивності праці за рахунок скорочення допоміжного часу, а також забезпечення необхідної точності взаємного розташування шпонкового паза відносно осі вала.

Таким чином, застосування спеціального пристрою КРБ 22-761.05.00 СК на вертикально-фрезерному верстаті Bridgerport дозволяє підвищити точність і

продуктивність операції фрезерування шпонкового паза ремонтного вала, а також забезпечити стабільність технологічного процесу при серійному виконанні ремонтних робіт.

3.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Розрахунок пристрою на точність наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок пристосування на точність

Показник	Аналітична формула порядку розрахунку	Опис елементів формули та їх значення
1	2	3
Похибка базування	$\varepsilon_{\sigma} = 0,5 \cdot IT_d \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} + 1 \right); IT_d = 0,054 \text{ мм}$ <p>(після токарного чистового оброблення);</p> $\varepsilon_{\sigma} = 0,5 \cdot 0,054 \left(\frac{1}{\sin 90 / 2} + 1 \right) = 0,065 \text{ мм}$	α – кут нахилу призми; IT_d – допуск на розмір оброблюваної заготовки.
Похибка закріплення	$\varepsilon_3 = 0,045 \text{ мм}$	
Похибка встановлення	$\varepsilon_e = \Delta T = 0,1 \text{ мм}$	
Похибка зношення	$\varepsilon_{zn} = u; u = u_o \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \frac{N}{N_o}$ $\varepsilon_{zn} = 0,015 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot \frac{4000}{100000} = 0,005$	$u_o = 0,015 \text{ мм}$ (сталь У8А) $k_1 = 0,97; k_2 = 1,0; k_3 = 0,94; k_4 = 1,0;$ $N = 100 \times 10^3$

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3
Економічна точність оброблення	$\omega = 0,10$ для фрезерування за 14 квалітетом точності	
Коефіцієнт зменшення граничного значення похибки базування	$k_{T1} = 0,80$ (робота на налаштованому верстаті)	
Коефіцієнт урахування частки похибки оброблення у сумарній похибці, спричинюваної незалежними факторами	$k_{T2} = 0,70$	
Коефіцієнт урахування впливу відхилення градації розсіювання значень складових величин у законі нормального розподілу	$k = 1,10$	
Точність пристрою	$\varepsilon_{np} \leq T - k \times$ $\times \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_{\delta}) + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_8^2 + \varepsilon_{3и}^2 + (k_{T2} \cdot \omega)}$ $\varepsilon_{np} \leq 0,1 - 1,1 \times$ $\times \sqrt{(0,8 \cdot 0,065) + 0,045^2 + 0,1^2 + 0,0005^2 + (0,7 \cdot 0,1)} =$ $= 0,041 \text{ мм}$	T - допуск виконуваного розміру: $T = 100 \text{ мкм}$
Висновок	Точність оброблення шпонкового пазу є достатньою	

3.1.3 Розрахунок силових факторів затиску

Розрахунок силових факторів затиску здійснюють в залежності від значень сили різання, моментів, сил тертя, об'ємних сил на основі урахування схеми базування деталі, розміщення оброблюваних поверхонь та їх розмірів, кінематики верстата, розміщення установчих елементів тощо, як задачу статички стосовно рівноваги твердого тіла (рис. 3.1).

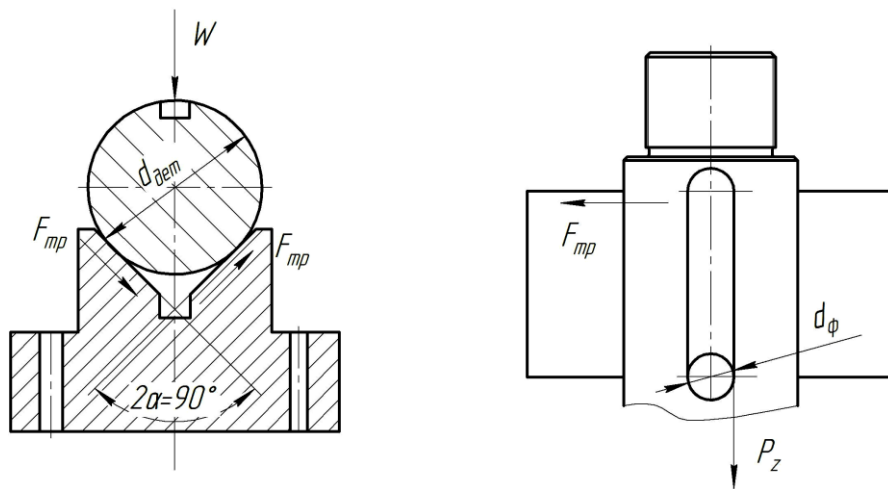


Рисунок 3.1 – Схема закріплення валу з позначенням силових факторів, що мають вплив на нього у процесі формоутворення шпонкового пазу

Таблиця 3.2 – Розрахунок силових факторів затиску

№	Параметр розрахунку		Формула, числове значення
1	2		3
1	Умова затиску		$\Sigma M_0 = 0$
2	Коефіцієнт тертя між поверхнею деталі та фрезою		$f=0,25$
3	Складова сили різання		$P_z, \text{Н}$
4	Діаметр фрези		$d_\phi = 20,0 \text{ мм}$
5	Коефіцієнт тертя між поверхнею деталі та	прихватом	$f_2=0,15$
6		призмою	$f_1 = 0,15$

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	
7	Коефіцієнт уточнюючий, що враховує	особливості виконання елементів пристрою	$K_5 = 1,20, K_6 = 1,10$
8		вплив конструктивного виконання затискного пристрою	$K_4 = 1,0$
9		збільшення сил різання при дискретному різанні	$K_3 = 1,20$
10		збільшення сил різання	$K_2 = 1,60$
11		випадкові нерівності	$K_1 = 1,20$
12	Гарантований коефіцієнт запасу	$K_0 = 1,50$	
13	Загальний сумарний коефіцієнт запасу	$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$ $K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 6,22$	
14	Коефіцієнт тертя	$F = 0,15 \dots 0,25$	
15	Величина сили затиску	$W = f \cdot K \cdot P ; W = \frac{f \cdot k \cdot F_c \cdot \frac{d\phi}{2}}{f_2 \cdot 228,5 + f_1 \cdot 100} ;$ $W = \frac{0,25 \cdot 6,2208 \cdot 1,5 \cdot \frac{20}{2}}{0,15 \cdot 228,5 + 0,15 \cdot 100} = 640,6 \text{ Н}$	
16	Висновок	Необхідна сила для закріплення деталі 640,60 Н	

3.1.4 Розрахунок затискного механізму у пристрої КРБ 22-761.05.00 СК

Розрахунок затискних зусиль, які необхідно прикласти до затискного пристрою, як правило здійснюють на основі визначення вихідної сили (моменту) на рукоятці (рис. 3.2) силового

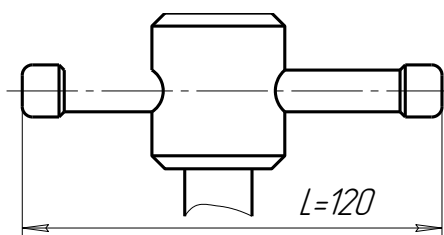


Рисунок 3.2 – Схема рукоятки у пристрої КРБ 22-761.05.00 СК

вузла приводу затиск у та визначення її основних розмірів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Розрахунок умови затиску

№	Параметри розрахунків	Аналітична формула, числове значення,
1	Тип затискного пристрою	Гвинт із рукояткою
2	Зведений кут тертя різі	$\varphi = 4,6^\circ$
3	Кут підняття різі	$\varphi_{np} = 10^\circ$
4	Коефіцієнт тертя на поверхні плаского торця	$f = 0,15$
5	Зовнішній і внутрішній діаметри опорного торця	$D_H = 26,0$ мм; $D_B = 20,0$ мм
6	Середній діаметр різі	$d = 18,75$ мм
7	Крутний момент, що прикладений до кінця гвинта	$M_{KP} = 17,6$ кН·м
8	Зусилля гвинтового затискувача	$Q = \frac{M_{KP}}{0,5 \cdot d \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \varphi_{np}) \cdot \frac{f}{3} \cdot \frac{D_H^3 - D_B^3}{D_H^2 - D_B^2}}; Q =$ $= \frac{17600}{0,5 \cdot 18,75 \cdot \operatorname{tg}(4,6 + 10) \cdot \frac{0,15}{3} \cdot \left(\frac{26^3 - 20^3}{26^2 - 20^2} \right)} = 4171 \text{ Н}$
9	Висновок	Умова затискування забезпечена

Таблиця 3.4 – Розрахунок умови самогвинчування

№	Параметри розрахунку	Аналітичні формули, числові значення
1	2	3
1	Умова самогальмування гвинтового механізму	$\varphi < \varphi_{np}; (4,6^\circ < 10^\circ)$.
2	Необхідна умова надійності функціонування	$\eta < 0,40$, де η – коефіцієнт корисної дії

Закінчення таблиці 3.4

1	2	3
3	Коефіцієнт корисної дії механізму	$к.к.д. = \frac{tg\varphi}{tg(\varphi + \varphi_{np})} \cdot \frac{2f_1}{3a} \cdot \frac{D_H^3 - D_B^3}{D_H^2 - D_B^2};$ $к.к.д. = \frac{tg4,6}{tg(4,6+10)} \cdot \frac{2 \cdot 0,15}{3 \cdot 18,75} \cdot \frac{26^3 - 20^3}{26^2 - 20^2} = 0,06 < 0,4$
4	Допустиме напруження матеріалу	$[\sigma_P] = 80$ МПа (сталь С45, гартована, умови експлуатації - змінне навантаження)
5	Номінальний діаметр різі	$d = 16$ мм
6	Коефіцієнт для основних метричних різьблень	$c \approx 1,4$
7	Допускне зусилля, створюване гвинтовим механізмом затиску	$[W] = d^2 \cdot [\sigma_P] \cdot c^2$ $[W] = 20^2 \cdot 80 \cdot 1,4^2 = 62720$
8	Висновок	Пристрій стійкий до самозгвинчування

3.2 Пристрій КРБ 22-761.06.00 СК для контролю радіального биття шийок вала

Для забезпечення відповідності відновленого вала вимогам робочого креслення після виконання наплавлення, токарної та шліфувального оброблення необхідно здійснювати контроль геометричної точності найбільш відповідальних посадочних поверхонь. З цією метою розроблено спеціальне контрольне пристосування КРБ 22-761.06.00 СК, призначене для вимірювання радіального биття шийок вала ОЛВ 52.19.

Контрольне пристосування являє собою жорстку збірну конструкцію, яка забезпечує встановлення деталі в центрах і створює необхідні умови для

високоточного вимірювання відхилень форми та взаємного розташування поверхонь.

Основою пристосування є плита (поз. 1), на якій змонтовано стійку нерухомого центра (поз. 2) та стійку рухомого центра (поз. 4). На стійках встановлено нерухомий центр (поз. 3) і рухомий центр (поз. 5), між якими розміщується контрольований вал. Фіксація деталі здійснюється через центрові отвори, що забезпечує базування по осі обертання, прийнятій за конструкторську базу.

Для створення осьового зусилля затискання використовується пружинний механізм, який складається з пружини (поз. 16), ручки керування (поз. 7) та елементів кріплення. Така конструкція забезпечує надійну фіксацію деталі без її деформації та не впливає на результати вимірювань.

Контроль геометричних параметрів здійснюється за допомогою шести індикаторних головок INDIGO 11 (поз. 15), які встановлені на спеціальних стійках індикаторів (поз. 8). Індикатори розміщені в місцях розташування контрольованих посадочних поверхонь відповідно до вимог робочого креслення вала.

Під час контролю вал вручну обертають навколо осі центрів, а індикаторні головки фіксують максимальні та мінімальні відхилення контрольованих поверхонь. Різниця між найбільшим та найменшим показами індикатора визначає величину радіального биття відповідної шийки.

Пристосування забезпечує контроль таких поверхонь: шийка Ø90k6; шийка Ø100k6; шийка Ø90k6; шийка Ø85h8; шийка Ø80k6.

Контроль здійснюється відносно єдиної базової осі, утвореної центровими отворами вала. Такий спосіб базування повністю відповідає вимогам креслення деталі та дозволяє об'єктивно оцінювати співвісність усіх посадочних поверхонь.

Використання спеціального контрольного пристосування має низку переваг:

- підвищення точності контролю;
- зменшення похибок базування;

- скорочення часу вимірювання;
- можливість одночасного контролю декількох поверхонь;
- підвищення продуктивності контрольних операцій;
- забезпечення повторюваності результатів вимірювань.

Особливо важливим є застосування даного пристосування після відновлення вала методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу, оскільки під час наплавлення та подальшого механічного оброблення можуть виникати незначні деформації, які впливають на співвісність посадочних поверхонь.

Контрольне пристосування КРБ 22-761.06.00 СК дозволяє своєчасно виявляти такі дефекти як перевищення допустимого радіального биття, викривлення осі вала, порушення співвісності шийок, похибки механічного оброблення після наплавлення та залишкові деформації після термічного оброблення.

Таким чином, застосування контрольного пристосування КРБ 22-761.06.00 СК забезпечує надійний контроль геометричної точності відновленого вала та підтверджує відповідність відремонтованої деталі вимогам робочого креслення щодо радіального биття і взаємного розташування посадочних поверхонь.

3.3 Розрахунок точності контрольного пристрою розрахунково-аналітичним методом

Розрахунок точності контрольного пристрою розрахунково-аналітичним методом наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахунок точності із умови стійкості до самозгвинчування

№	Параметр розрахунку	Аналітична формула, числове значення
1	2	3
1	Допуск на вимірювальний параметр	$T=0,02$ мм

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3
2	лінійних розмірів	$\Delta_{л.р.} = 0$
3	передаючих пристроїв (важелів)	$\Delta_{п.п.} = 0$. (немає передаючих пристроїв)
4	виготовлення установчих елементів	$\Delta_{у.е.} = 0$ (немає установчих елементів)
5	базування	$\Delta_{б.} = 0$ (вимірювальна база співпадає з конструкторською)
6	яка спричинена деформацією деталі	$\Delta_{деф.} = 0$ (деталь є жорсткою, сили закріплення надзвичайно малі)
	випадкова	$\Delta_{в.} = 0,15 \cdot 0,02 = 0,003 \text{ мм}$; $\Delta_{в.} = 0,05 \cdot 0,02 = 0,001 \text{ мм}$
	закріплення	$\Delta_{з.} = 0$
	вимірювального приладу	$\Delta_{ін.} = 0,001 \text{ мм}$
	Допустима похибка вимірювання	7 мкм
7	Сумарна похибка вимірювання	$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{л.р.} + \Delta_{п.п.} + \Delta_{у.е.} +$ $+ \sqrt{\Delta_{б.}^2 + \Delta_{деф.}^2 + \Delta_{з.}^2 + \Delta_{ін.}^2}$ <p>У даному випадку $\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{б.}^2 + \Delta_{ін.}^2}$</p> $\Delta_{\Sigma} = \sqrt{0,003^2 + 0,001^2} = 0,003 \text{ мм} =$ $= 3,0 < 7,0 \text{ мкм}$
8	Висновок	Сумарна похибка вимірювання є меншою за значення допустимої похибки. Умову можливості використання пристрою для контролю виконано.

3.4 Висновки до розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано розроблення та обґрунтування спеціального технологічного спорядження, необхідного для реалізації технологічного процесу відновлення вала ОЛВ 52.19 та забезпечення контролю якості відремонтованої деталі.

Для виконання операції фрезерування шпонкового паза на універсальному вертикально-фрезерному верстаті типу Bridgeport I спроектовано спеціальне пристосування КРБ 22-761.05.00 СК. Розроблена конструкція забезпечує надійне базування та закріплення довгомірного вала під час оброблення, виключає можливість зміщення деталі під дією сил різання та дозволяє забезпечити необхідну точність взаємного розташування шпонкового паза відносно посадочних поверхонь.

У процесі проектування пристосування виконано розрахунок його точності, який підтвердив можливість забезпечення вимог креслення щодо розмірної точності та взаємного розташування поверхонь. Проведений аналіз показав, що сумарна похибка базування та закріплення не перевищує допустимих значень і не впливає на якість виконання фрезерної операції.

Виконано розрахунок силових факторів затиску та затискного механізму пристосування. Отримані результати підтвердили достатню надійність закріплення деталі під час роботи та відсутність ризику її повертання або зміщення під дією сил різання. Розраховані параметри затискного механізму забезпечують необхідний запас надійності та безпечну експлуатацію пристрою.

Для контролю геометричної точності відновленої деталі розроблено спеціальне контрольне пристосування КРБ 22-761.06.00 СК, призначене для вимірювання радіального биття посадочних шийок вала. Конструкція пристрою забезпечує встановлення деталі в центрах та контроль найбільш відповідальних поверхонь відносно єдиної базової осі.

Виконаний аналіз конструкції контрольного пристосування показав, що воно забезпечує можливість контролю шийок $\varnothing 90k6$, $\varnothing 100k6$, $\varnothing 90k6$, $\varnothing 85h8$ та

Ø80k6 відповідно до вимог робочого креслення. Застосування індикаторних головок високої точності дозволяє здійснювати вимірювання радіального биття з необхідною достовірністю та повторюваністю результатів.

Розрахунок точності контрольного пристрою розрахунково-аналітичним методом підтвердив його придатність для контролю допусків радіального биття до 0,025 мм. Отримані результати свідчать про те, що похибка вимірювання не перевищує допустимих значень і забезпечує надійний контроль якості відновленої деталі.

Таким чином, у результаті виконання конструкторської частини кваліфікаційної роботи розроблено комплект спеціального спорядження, який забезпечує реалізацію технологічного процесу відновлення вала ОЛВ 52.19, підвищує точність механічного оброблення та гарантує об'єктивний контроль геометричних параметрів готової деталі. Використання спроектованих пристосувань дозволяє підвищити продуктивність технологічного процесу, зменшити трудомісткість виконання операцій та забезпечити відповідність відновленого вала вимогам конструкторської документації.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Охорона праці при реалізації технології автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу

4.1.1 Загальна характеристика технологічного процесу

У даній роботі для відновлення зношених поверхонь валів застосовується автоматичне електродугове наплавлення під шаром флюсу (SAW — Submerged Arc Welding). Наплавлення виконується на автоматі А-384МК із використанням наплавочної головки ESAB A2 Multitrac SAW head, суцільного дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71.

Процес наплавлення супроводжується впливом небезпечних та шкідливих виробничих факторів, до яких належать електричний струм, підвищена температура поверхонь, рухомі частини устаткування, аерозолі металів, пил флюсу, шум, вібрація та пожежна безпека. Тому забезпечення безпечних умов праці є обов'язковою умовою виконання технологічного процесу.

4.1.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час автоматичного наплавлення під шаром флюсу на працівника можуть впливати наступні фактори:

Електричний струм

Наплавлення здійснюється струмами величиною від 300 до 800 А при напрузі 28–40 В. Пошкодження ізоляції кабелів, порушення заземлення устаткування або дотик до струмоведучих частин можуть призвести до ураження електричним струмом.

Для запобігання електротравматизму необхідно забезпечити надійне захисне заземлення устаткування та проводити регулярний контроль стану

ізоляції кабелів, використовувати діелектричні засоби захисту та виконувати роботи лише справним устаткуванням.

Термічні фактори

У зоні наплавлення температура електричної дуги перевищує 5000 °С, а температура наплавленого металу може досягати 1500 °С. Нагріті деталі зберігають високу температуру протягом тривалого часу після завершення процесу.

Основними небезпеками є опіки розплавленим металом, опіки нагрітими деталями, займання легкозаймистих матеріалів.

Для захисту необхідно використовувати вогнестійкий спецодяг, захисні рукавиці, спеціальне взуття з металевим підноском та захисні екрани.

Шкідливі речовини в повітрі робочої зони

Під час плавлення металу та флюсу утворюються оксиди заліза, оксиди марганцю, оксиди кремнію, аерозолі зварювання та пил флюсу.

Тривалий вплив таких речовин може викликати захворювання органів дихання.

Для зниження концентрації шкідливих речовин застосовують загальнообмінну вентиляцію, місцеві відсмоктувачі, механізоване завантаження флюсу та використання респіраторів.

Рухомі частини устаткування

При наплавленні вал обертається, а наплавочна головка здійснює автоматичне переміщення вздовж осі деталі.

Небезпеку становлять захоплення одягу, затягування рук у зону обертання, та травмування рухомими механізмами.

Для захисту необхідно використовувати захисні огороження, працювати у застібнутому спецодязі та не виконувати регулювання під час роботи устаткування.

Шум та вібрація

Рівень шуму під час роботи наплавочного устаткування може становити 75–85 дБ.

Тривалий вплив шуму призводить до зниження слуху, підвищеної втомлюваності та погіршення концентрації уваги.

Для зменшення впливу шуму використовують звукоізоляційні екрани, технічне обслуговування устаткування та засоби індивідуального захисту органів слуху.

Вимоги до виробничого приміщення

Дільниця наплавлення повинна відповідати вимогам чинних нормативних документів з охорони праці.

Приміщення повинно бути обладнане:

- припливно-витяжною вентиляцією;
- аварійним освітленням;
- системою пожежної сигналізації;
- первинними засобами пожежогасіння.

Ширина проходів між обладнанням повинна бути не менше 1 м.

Підлога повинна бути рівною, неслизькою та стійкою до механічних навантажень.

Засоби індивідуального захисту

Оператор наплавочного обладнання повинен бути забезпечений:

- костюмом зварника з вогнестійкої тканини;
- шкіряними крагами;
- захисними черевиками;
- захисними окулярами;
- респіратором;
- захисною каскою.

Спецодяг повинен бути сухим, справним та відповідати вимогам безпеки.

Пожежна безпека

Наплавлення відноситься до пожежонебезпечних процесів.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

- прибрати легкозаймисті матеріали із зони робіт;
- забезпечити наявність вуглекислотних та порошкових вогнегасників;

- проводити регулярний контроль стану електрообладнання;
- виконувати очищення робочого місця від залишків флюсу та металу.

Після завершення роботи необхідно:

- вимкнути обладнання;
- перекрити електроживлення;
- перевірити відсутність осередків займання.

Заходи безпеки під час виконання робіт

Перед початком роботи оператор повинен:

- перевірити справність обладнання;
- перевірити заземлення;
- оглянути електричні кабелі;
- перевірити роботу вентиляції.

Під час роботи забороняється:

- торкатися рухомих частин обладнання;
- виконувати ремонт при ввімкненому живленні;
- працювати без засобів індивідуального захисту;
- залишати працююче обладнання без нагляду.

Після завершення наплавлення необхідно:

- вимкнути установку;
- очистити робоче місце;
- прибрати залишки флюсу;
- провести зовнішній огляд обладнання.

Висновки

Автоматичне електродугове наплавлення під шаром флюсу є високопродуктивним способом відновлення валів, однак супроводжується дією ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Дотримання вимог електробезпеки, пожежної безпеки, використання ефективної вентиляції та засобів індивідуального захисту забезпечує безпечне виконання технологічного процесу та збереження здоров'я працівників.

4.2 Розрахунок заземлення

Верстатне устаткування оснащено індивідуальними електродвигунами, що працюють на перемінному струмі (як правило це одночастотні асинхронні двигуни). Напруга струму 380 В, а для висвітлення робочих місць і цехового висвітлення – 220 В. Електробезпеку у дільниці, що проектується досягається за рахунок наступних заходів:

- облаштування заземлення й аварійного відключення;
- ізоляція розв'язаних частин верстата, з якими робітник протягом роботи знаходиться в безпосередньому контакті;
- розташування рубильників біля електроустановок таким чином, щоб до них був вільний підхід у випадку аварійного відключення.

Захисні заземлення є простим і ефективним способом захисту людини від поразки електричним струмом при дотику до металевих поверхонь, які опинились під напругою. Це досягається за рахунок зниження напруги між устаткуванням, яке опинилось під напругою і землею до безпечної величини.

В якості штучних заземлювачів можуть застосовуватися:

вертикально забиті труби довжиною 2-3 метра і діаметром 50 мм;

горизонтально покладені смуги і проводки.

Заземлення електроустановок необхідно виконати при напрузі 500 В и вище для перемінного і постійного струму у всіх випадках.

Задача заземлення полягає в наступному :

Заземлення перетворює пробій на корпусі в однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазними і нульовими проводами з метою створення струму, здатного забезпечити спрацьовування захисту 2 і тим самим автоматично відключити ушкоджену установку.

Таким захистом є головні запобіжники або автоматичні вимикачі енергії відтоків короткого замикання.

Опір заземлювача знаходиться розрахунковим шляхом за формулою:

$$R_{tp} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L \cdot \left(\frac{\lg 2L}{d} + \frac{\lg 4h}{2} + \frac{L}{4h} - L \right)} \quad (4.1)$$

де ρ – питомий опір прутка, $1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

L – довжина труби, 250 см ;

d – зовнішній діаметр труби, 6 см ;

h – глибина закладення труби, см .

Глибина закладення труби визначається за формулою:

$$h = 70 + \frac{L}{2} \quad (4.2)$$

$$h = 70 + \frac{250}{2} = 195 \text{ см}$$

Розрахуємо опір:

$$R_{tp} = \frac{104}{2\pi \cdot 250 \cdot \left(\frac{\lg 2 \cdot 250}{6} + \frac{\lg 4 \cdot 6}{2} + \frac{250}{4 \cdot 6} - 250 \right)} = 32,2 \text{ Ом}$$

Визначимо необхідне число заземлювачів за формулою:

$$N = \frac{R_{tp}}{\eta_3 \cdot \eta_{tp}} \quad (4.3)$$

де η_3 – необхідний опір, Ом ;

η_{tp} – коефіцієнт використання трубчастого заземлення, $0,5$.

$$N = \frac{32,2}{4 \cdot 0,5} = 15 \text{ шт.}$$

Довжина металевої смуги визначається за формулою

$$L_{CM} = 1,05 \cdot N \cdot a \quad (4.4)$$

де a – відстань між трубами, 250 см .

$$L_{CM} = 1,05 \cdot 15 \cdot 250 = 3940 \text{ см}$$

Опір сполучної смуги визначається за формулою

$$R_{CM} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L_{CM} \cdot \lg\left(\frac{2L_{CM}}{b \cdot h}\right)} \quad (4.5)$$

де b – глибина смуги, 2 см;

h – глибина закладення смуги, 70 см.

$$R_{CM} = \frac{104}{2\pi \cdot 3940 \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 3940}{2 \cdot 70}\right)} = 4,55 \text{ Ом.}$$

Загальний опір усього пристрою, що заземлює визначається за формулою

$$R_k = \frac{R_{tp} \cdot R_{CM}}{(R_{tp} \cdot 0,4 + R_{CM} \cdot \eta_{tp} \cdot N)} \quad (4.6)$$

$$R_k = \frac{30,2 \cdot 4,55}{(30,2 \cdot 0,4 + 4,5 \cdot 0,15 \cdot 15)} = 6,18 \text{ Ом.}$$

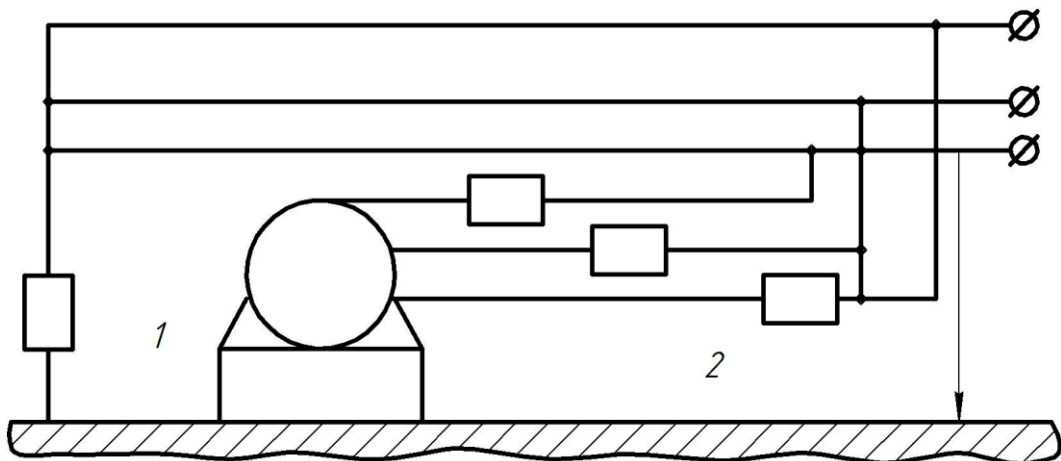


Рисунок 4.1 - Схема заземлення

4.3 Безпека життєдіяльності при реалізації технології автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу

4.3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Технологічний процес відновлення валів методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу супроводжується дією комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Наплавлення

здійснюється на автоматі А-384МК з використанням наплавочної головки ESAB A2 Multitrac SAW head, зварювального дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71.

Основними небезпечними факторами є ураження електричним струмом, дія високих температур, вплив аерозолів зварювання, пил флюсу, підвищений рівень шуму, рухомі частини механізмів, пожежна безпека.

Під час горіння дуги температура в зоні плавлення перевищує 5000 °С, що створює небезпеку термічних опіків. Крім того, розплавлений метал може розбризкуватися за межі зони наплавлення.

При плавленні електродного дроту та флюсу утворюються аерозолі, які містять оксиди заліза, марганцю та кремнію. Тривалий вплив цих речовин може негативно впливати на органи дихання працівників.

Рівень шуму під час роботи наплавочного обладнання може досягати 80–85 дБ, що потребує застосування засобів захисту органів слуху.

Для зниження впливу шкідливих факторів необхідно використовувати ефективну систему вентиляції, засоби індивідуального захисту та забезпечувати належний технічний стан обладнання.

4.3.2 Розрахунок необхідного повітрообміну дільниці наплавлення

Одним із найбільш небезпечних факторів при наплавленні є виділення аерозолів та газоподібних продуктів плавлення металу і флюсу. Для забезпечення нормативних умов праці необхідно організувати ефективну припливно-витяжну вентиляцію.

Об'єм повітря, який необхідно видаляти із виробничого приміщення, визначається за формулою:

$$L = G / (C_{дон} - C_{пр})$$

де L – необхідна витрата повітря, м³/год;

G – кількість шкідливих речовин, що виділяються в повітря, мг/год;

$C_{дон}$ – гранично допустима концентрація речовини, мг/м³;

C_{np} – концентрація речовини у припливному повітрі, мг/м³.

Для процесів автоматичного наплавлення під шаром флюсу виділення зварювального аерозолі становить орієнтовно:

$$G = 3500 \text{ мг/год.}$$

Гранично допустима концентрація зварювального аерозолі:

$$C_{дон} = 6 \text{ мг/м}^3.$$

Концентрація забруднень у припливному повітрі практично відсутня:

$$C_{np} = 0 \text{ мг/м}^3.$$

Після підстановки значень одержуємо:

$$L = 3500 / 6 = 583 \text{ м}^3/\text{год.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу 1,5:

$$L_{розр} = 583 \cdot 1,5 = 875 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Таким чином, для безпечної роботи наплавочної дільниці необхідно забезпечити повітрообмін не менше 900 м³/год.

Крім загальнообмінної вентиляції рекомендується встановлення місцевих витяжних пристроїв безпосередньо в зоні наплавлення.

4.3.3 Забезпечення пожежної безпеки

Автоматичне наплавлення під шаром флюсу належить до пожежонебезпечних технологічних процесів через наявність електричної дуги та нагрітих металевих поверхонь.

Основними причинами виникнення пожеж можуть бути коротке замикання електрообладнання, пошкодження ізоляції кабелів, потрапляння розпеченого металу на горючі матеріали, несправність електричних з'єднань.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно обладнати приміщення автоматичною пожежною сигналізацією, забезпечити наявність порошкових та вуглекислотних вогнегасників, здійснювати регулярний контроль стану електрообладнання, не допускати накопичення горючих матеріалів поблизу робочих місць.

На ділянці повинні бути передбачені евакуаційні проходи шириною не менше 1 м та аварійне освітлення.

4.3.4 Заходи цивільного захисту при аварійних ситуаціях

У випадку виникнення аварійної ситуації працівники повинні діяти відповідно до затвердженого плану реагування.

До можливих надзвичайних ситуацій належать пожежа, аварійне відключення електропостачання, руйнування технологічного обладнання, задимлення виробничого приміщення.

У разі виникнення пожежі необхідно негайно зупинити технологічний процес, вимкнути електроживлення, повідомити керівника робіт, викликати пожежно-рятувальну службу та розпочати евакуацію персоналу.

Працівники повинні бути ознайомлені зі схемами евакуації та проходити періодичні тренування з дій у надзвичайних ситуаціях.

4.3.5 Екологічна оцінка технології відновлення валів

Відновлення валів методом наплавлення дозволяє значно зменшити витрати металу та енергоресурсів порівняно з виготовленням нових деталей.

Основними відходами виробництва є залишки флюсу, металевий пил, шлакові утворення, використані абразивні матеріали.

Частина флюсу після очищення може використовуватися повторно, що знижує кількість виробничих відходів.

Застосування технології відновлення деталей забезпечує скорочення споживання металу, зменшення обсягів металобрухту, зниження енерговитрат, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Отже, технологія автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу є не лише ефективною з технологічної точки зору, але й екологічно

доцільною, оскільки сприяє раціональному використанню матеріальних ресурсів та зменшенню техногенного навантаження на довкілля.

4.4 Висновки до розділу

У розділі розглянуто комплекс питань охорони праці, безпеки життєдіяльності та екологічної безпеки при реалізації технології відновлення вала ОЛВ 52.19 методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу.

Проведено аналіз умов праці під час виконання операцій автоматичного наплавлення та подальшого механічного оброблення відновлених поверхонь. Встановлено, що найбільшу небезпеку для працівників становлять електричний струм, підвищена температура в зоні горіння дуги, аерозолі та газоподібні продукти наплавлення, пил флюсу, шум виробничого обладнання, а також рухомі частини механізмів і вантажопідіймальних засобів.

Для зниження впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, які включають використання засобів індивідуального захисту, обладнання робочих місць ефективною вентиляцією, застосування захисного заземлення, проведення періодичних інструктажів та контроль технічного стану обладнання.

У рамках розділу виконано розрахунок захисного заземлення наплавочного обладнання. Отримані результати підтвердили можливість забезпечення електробезпеки персоналу та відповідність параметрів системи заземлення вимогам нормативних документів щодо захисту від ураження електричним струмом.

Під час аналізу безпеки життєдіяльності визначено основні джерела небезпеки, характерні для ділянки автоматичного електродугового наплавлення. Особливу увагу приділено питанням захисту працівників від впливу шкідливих речовин, які утворюються в процесі плавлення металу та флюсу.

Для забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища виконано розрахунок необхідного повітрообміну виробничого приміщення. Отримані результати підтвердили необхідність використання припливно-втяжної вентиляції та місцевих витяжних пристроїв безпосередньо в зоні виконання наплавочних робіт.

Розглянуто питання пожежної безпеки виробничої дільниці. Визначено основні причини можливого виникнення пожеж та розроблено комплекс профілактичних заходів, спрямованих на запобігання аварійним ситуаціям. Передбачено використання первинних засобів пожежогасіння, систем пожежної сигналізації та організацію безпечної евакуації персоналу.

У розділі також розроблено заходи цивільного захисту при виникненні аварійних ситуацій, які включають порядок дій персоналу під час пожежі, аварійного відключення електроживлення, задимлення виробничого приміщення та інших надзвичайних подій.

Окрему увагу приділено екологічній оцінці технології відновлення валів. Встановлено, що використання автоматичного електродугового наплавлення дозволяє значно знизити витрати металу та енергетичних ресурсів порівняно з виготовленням нових деталей. Запропоновані заходи щодо утилізації залишків флюсу, металевого пилю та інших виробничих відходів сприяють зменшенню негативного впливу виробництва на навколишнє середовище.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили, що розроблена технологія відновлення вала ОЛВ 52.19 методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу може бути безпечно реалізована в умовах ремонтного виробництва за умови дотримання встановлених вимог охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки, цивільного захисту та екологічної безпеки. Запропоновані технічні та організаційні заходи забезпечують належний рівень захисту працівників, надійність виробничого процесу та відповідність сучасним вимогам безпечної експлуатації технологічного обладнання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне інженерне завдання, що полягає у розробленні технологічного процесу відновлення вала ОЛВ 52.19 методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу з подальшою механічною обробкою та контролем геометричних параметрів відновленої деталі.

У результаті виконання роботи проведено аналіз конструктивних особливостей деталі, умов її експлуатації та характеру зношування робочих поверхонь. Встановлено, що найбільшому зношуванню піддаються посадочні шийки вала, які визначають точність роботи вузла та його експлуатаційну надійність. Аналіз робочого креслення підтвердив наявність підвищених вимог до точності розмірів, співвісності поверхонь і величини радіального биття, що необхідно враховувати під час розроблення ремонтної технології.

Досліджено фізико-механічні властивості матеріалу деталі – сталі С45 (DIN EN 10083-2) та встановлено її придатність до відновлення методами електродугового наплавлення. Проведений аналіз ремонтної технологічності показав, що конструкція вала є сприятливою для відновлення посадочних поверхонь шляхом нанесення додаткового шару металу з подальшим відновленням номінальних розмірів механічною обробкою.

Для відновлення зношених поверхонь обґрунтовано застосування автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу з використанням наплавочної головки ESAB A2 Multitrac SAW Head, суцільного дроту EN ISO 14341-A G 42 4 M21 Ø2 мм та флюсу ESAB OK Flux 10.71. Встановлено, що запропонований наплавочний матеріал забезпечує формування якісного шару металу з твердістю 170–220 НВ, який характеризується достатньою міцністю, зносостійкістю та доброю оброблюваністю різанням.

Розроблено технологію автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу та обґрунтовано необхідність проведення високого відпуску після

наплавлення при температурі 600 °С для зняття залишкових напружень і стабілізації геометричних параметрів довгомірної деталі.

Сформовано технологічний маршрут ремонту вала, який включає дефектацію, механічну підготовку поверхонь, автоматичне наплавлення, термічну обробку, токарну, фрезерну та круглошліфувальну обробку, а також контроль готової продукції. Запропонований маршрут забезпечує отримання посадочних поверхонь із точністю k6 та h8, шорсткістю до $Ra\ 0,8$ та радіальним биттям не більше 0,025 мм відповідно до вимог робочого креслення.

Виконано розрахунок режимів різання при фрезеруванні шпонкового паза на універсальному вертикально-фрезерному верстаті типу Bridgeport I із застосуванням кінцевої твердосплавної шпонкової фрези Ø20 мм. Розраховано швидкість різання, частоту обертання шпинделя, подачу, основний машинний час та загальну норму часу виконання операції.

Проведено аналітичний розрахунок сил різання, потужності різання та крутного моменту на шпинделі фрези. Отримані результати підтвердили можливість виконання операції на обраному устаткуванні без перевантаження його силових вузлів.

Розраховано технологічні режими наплавлення та виконано технічне нормування наплавочної операції, що дозволило визначити раціональні параметри процесу та оцінити його виробничу ефективність.

У конструкторській частині кваліфікаційної роботи розроблено спеціальне пристосування КРБ 22-761.05.00 СК для закріплення вала під час фрезерування шпонкового паза. Виконані розрахунки точності, сил затиску та параметрів затискного механізму підтвердили працездатність і надійність запропонованої конструкції.

Для контролю якості відновленої деталі розроблено контрольне пристосування КРБ 22-761.06.00 СК, призначене для вимірювання радіального биття посадочних шийок. Розрахунок точності контрольного пристрою підтвердив можливість контролю параметрів деталі з необхідною достовірністю та відповідністю вимогам креслення.

У розділі з охорони праці та безпеки життєдіяльності проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для процесу автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу. Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці, виконано розрахунок захисного заземлення та необхідного повітрообміну виробничого приміщення, а також розглянуто питання пожежної безпеки, цивільного захисту та екологічної безпеки.

Упровадження розробленої технології дозволяє відновлювати вал ОЛВ 52.19 із забезпеченням необхідних експлуатаційних характеристик, значно зменшити витрати матеріалів і трудових ресурсів порівняно з виготовленням нової деталі та підвищити ефективність ремонтного виробництва.

Отримані результати підтверджують технічну доцільність, виробничу ефективність та практичну цінність розробленого технологічного процесу відновлення вала методом автоматичного електродугового наплавлення під шаром флюсу.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Александров О.Г. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення [Текст]: навчальний посібник / О.Г. Александров. Д.А. Антонюк. Капустян О.Є. - Львів: Новий світ - 2000. 2013. - 224 с.
2. Биковский О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський. І.В. Пінковський. - К.: Техніка. 2002. - 336 с.
3. Григурко І. О., Брендуля М. Ф., Доценко С. М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 768 с.
4. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль: ТДТУ, 2001. 277 с.
5. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
6. Жидецький В.Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
7. Запорожець О. І. Основи охорони праці: Підручник / О. І. Запорожець, О. С. Протоєрейський, Г. М. Франчук, І. М. Боровик. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с
8. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
9. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навчальний посібник. - Миколаїв: НУК. 2004. - 225 с.
10. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов. К.О Зворикін. - К\; КВІЦ.2012.-896 с.
11. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища шк., 1993. – 556 с.
12. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.

13. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

14. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль: ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>

15. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навч. посібник – К.:ІСДО, 1996 – 300 с.

16. Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання: ІЦСТУ 3159-95. - Чинний від 01.07.1996.. - К.: Держстандарт України. 1995. - 36 с.

17. Терміни та визначення в технічній творчості та наукових дослідженнях. Методичний посібник / Уклад. Пилипець М.І, Васильків В.В., Радик Д.Л. – Тернопіль: Вид.-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2011. – 256 с.

18. Creating a 3D model. Study guides for lab classes № 4 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 40 p.

19. Creating a parametric drawing in the automatic parameterization mode. Study guides for lab classes № 3 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 28 p.

20. Creating Parametric Drawing. Study guides for lab classes № 2 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 38 p.

21. Sketching by Non-parametric Drawing. Study guides for lab classes № 1 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylykiv

V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 28 p.

22. Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. Technological methods of workpieces manufacturing. Metal Casting: Manual / V. Vasylykiv, L. Danylchenko, D. Radyk. Edited by L. Dzhydzhora. – Ternopil: Osadtsa U.V., 2021. – 203 p.

23. Vasylykiv V., Pylypets M., Danylchenko L., Radyk D. (2021) Use of computer-integrated technologies in training of engineering specialists. In: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, Proceedings of the International Conference Advanced Applied Energy and Information Technologies, Ternopil, December 15-17, 2021, pp. 74-80.

24. Vasylykiv V.V. Technologies of workpieces manufacturing by casting: manual / V.V. Vasylykiv, L.M. Danylchenko, D.L. Radyk. – Ternopil : Published TNTU named after Ivan Puluj, 2023. – 492 p.