

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Підвищення експлуатаційних властивостей деталей за допомогою
комплексної фінішної обробки»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи Мз-112м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КОРШУНОВА Н.І.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник

СТЕПАНОВ Д.М.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

МАТЮХІН А.Ю.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Машинобудівний
 Кафедра «Технологія машинобудування»
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

«_____» _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

КОРШУНОВА Наталя Іванівна
(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Підвищення експлуатаційних властивостей деталей за допомогою комплексної фінішної обробки»

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Дмитро Миколайович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» 11 2023 року №436

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд методів фінішно-оздоблювальної обробки тонкостінних і складно профільних деталей. 2. Методика проведення експериментів. 3. Експериментальні дослідження. 4. Оцінка економічної ефективності заходів. 5. Охорона праці

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

Презентація доповіді

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	СТЕПАНОВ Д.М., к.т.н., доц.		
4	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., к.т.н., доц.		
5	ШМИРКО В.І., к.т.н., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., к.т.н., доц., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 04 вересня 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Огляд методів підвищення експлуатаційних характеристик	18.09.2023	
2	Методика проведення експериментів	09.10.2023	
3	Експериментальні дослідження	23.10.2023	
4	Оцінка економічної ефективності заходів	06.11.2023	
5	Охорона праці	27.10.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки	06.11.2023	
7	Нормоконтроль	04.12.2023	
8	Рецензія	07.12.2023	
9	Захист дипломного проєкту	21.12.2023	
10			
11			

Студент(ка)

_____ Наталя КОРШУНОВА
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Дмитро СТЕПАНОВ
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 83 с., 9 таблиця, 47 рис., 40 джерел.

ВІБРОПОЛІРУВАННЯ, ГАЗОТУРБІННИЙ ДВИГУН, НАПОВНЮВАЧ, ФІНІШНА ОБРОБКА, ШОРСТКІСТЬ, ЯКІСТЬ

Об'єктом дослідження є технологічний процес фінішної обробки авіаційних складнопрофільних деталей за допомогою віброполірування.

Предметом дослідження були технологічні параметри, показники продуктивності і якості фінішної обробки складнопрофільних поверхонь авіаційних деталей віброполіруванням.

Метою роботи є забезпечення основних експлуатаційних характеристик деталі за рахунок підвищення якості поверхні авіаційних деталей віброполіруванням.

Методи дослідження включали: методи інженерної механіки, експериментальний, науко-дослідний.

У виконаній роботі з підвищення експлуатаційних властивостей деталей проаналізовані фінішні методи обробки тонкостінних складнопрофільних деталей ГТД з вибором наповнювачів для віброполірувальної установки, які в свою чергу впливають на якість обробленої поверхні. Розглянуто технологічний процес фінішної обробки секторів лопаток соплового апарату та лопаток компресора високого тиску ГТД. Отримані режими обробки та надані технологічні рекомендації.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ФІНІШНО-ОЗДОБЛЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТОНКОСТІННИХ І СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ...	10
1.1 Існуючі методи обробки	10
1.2 Полірування	10
1.2.1 Полірування еластичними кругами.....	11
1.2.2 Хімічні методи полірування.....	16
1.2.3 Полірування абразивною шкіркою і стрічкове полірування.....	21
1.2.4 Гідрополірування.....	25
1.3 Магніто-абразивна обробка.....	26
1.4 Кавітаційно-абразивна ультразвукова обробка.....	29
1.5 Вібраційна обробка.....	31
1.6 Турбоабразивна обробка в псевдо-сжиженому шарі абразиву.....	33
1.7 Обробка металевими щітками.....	35
1.8 Обробка полімерно-абразивним інструментом.....	37
1.9 Віброабразивні установки	41
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	43
2.1 Зразки для проведення експериментів	43
2.2 Устаткування.....	45
2.3 Види наповнювачів.....	48
2.4 Методика визначення шорсткості.....	56
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	57
3.1 Дослідження наповнювачів.....	57
3.2 Дослідження якості поверхні.....	58
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ.....	65

	6
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	72
ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	76
ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	80

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АГД	Аерозольний газодинамічний
ВПД	Верстат приспособа інструмент деталь
ЄСВ	Єдиний соціальний видаток
ЗОТС	Змащуючо-охолоджуюче технологічне середовище
ККД	Коефіцієнт корисної дії
ПАІ	Полімерно-абразивний інструмент
ПСА	Псевдосжижений абразив
СА	Сопловий апарат
ТВТ	Турбіна високого тиску
ТПЗ	Термозахисне покриття

ВСТУП

Експлуатаційні властивості матеріалу - це властивості, які визначають тривалість робочого ресурсу та надійність виробів відповідно до їх функціонального призначення та умов експлуатації. Експлуатаційні властивості деталі знаходяться у прямому зв'язку з геометричними характеристиками поверхні та механічними властивостями поверхневого шару. Шорсткість поверхні є однією із основних геометричних характеристик якості поверхні деталей, яка, у свою чергу, впливає на її експлуатаційні показники в цілому. Під час експлуатації машин і приладів зовнішньому впливу, в першу чергу, піддаються поверхні їх деталей. Зношування поверхонь тертя, зародження тріщин, змінання поверхонь, корозійний і ерозійне руйнування та руйнування в результаті кавітації – це процеси, які протікають як на поверхнях деталей, так і прилеглому до їх поверхні шарі. Якість поверхні є одним із найважливіших чинників, який забезпечує високі експлуатаційні властивості деталей машин і приладів та залежить, у свою чергу, від властивостей матеріалу (фізичні, механічні, електрофізичні, електрохімічні, тощо) і методу обробки (різання лезовим інструментом, шліфування, полірування, тощо).. Взаємозв'язок між параметрами якості поверхні деталей та їх експлуатаційними властивостями є одним із основних напрямків досліджень у галузі машино- та приладобудування [1].

Від шорсткості поверхонь також залежить міцність деталей. Руйнування деталі, особливо за умов змінних навантажень, у більшій мірі пояснюється концентрацією її напружень, внаслідок наявних нерівностей [2], [3], [4], [5]. Чим меншою є шорсткість, тим меншою є можливість виникнення поверхневих тріщин внаслідок втоми матеріалу. [6], [7].

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

1.1 Існуючі методи обробки

При забезпеченні експлуатаційних властивостей деталі основна увага пред'являється фінішним операціям. Наявність дефектів та невідповідність шорсткості поверхні призводить до погіршення експлуатаційних характеристик деталі.

При виконанні фінішних операцій обробки тонкостінних і складнопрофільних виробів до інструменту пред'являються наступні вимоги:

- для забезпечення обробки складнопрофільних виробів або форма інструменту, або його траєкторія повинні повторювати (копіювати) форму оброблюваної поверхні;
- для забезпечення можливості обробки тонкостінних виробів інструмент повинен чинити мінімальну силову дію на оброблювану поверхню.

Тому в цьому літературному огляді розглядаються наступні методи обробки, що задовольняють викладеним вимогам:

- полірування (еластичними кругами, хімічне полірування, абразивною шкіркою, стрічкове, гідрополірування);
- магніто-абразивна обробка;
- кавітаційно-абразивна ультразвукова обробка;
- вібраційна обробка;
- обробка металевими щітками;
- обробка полімерно-абразивними інструментами.

1.2 Полірування

Полірування металів - остаточна операція обробки, призначена для поліпшення чистоти поверхні деталей машин і приладів, а також для збільшення терміну їх служби. Полірування також застосовується для декоративної обробки, тобто для поліпшення зовнішнього вигляду деталей машин.

1.2.1 Полірування еластичними кругами

Цей метод полірування здійснюється еластичними кругами, що обертаються, на робочій поверхні яких закріплений шар абразивних зерен або нанесена полірувальна паста, що містить окрім абразиву єднальні і поверхнево активні речовини [9].

Полірування еластичними кругами здійснюється на простих по конструкції полірувальних верстатах або на верстатах-електромоторах з ручною подачею виробу. Полірування виробів з механічною подачею здійснюється на спеціальних і агрегатних верстатах або на напівавтоматах. Широке поширення отримало полірування еластичними кругами при остаточній декоративній обробці і підготовці деталей під гальванічні покриття. Еластичні круги застосовуються також при обробці деталей, що не вимагають високої точності розмірів полірованих поверхонь (до них відносяться маховики, руків'я, втулки, рефлектори та інші деталі автомобілів, мотоциклів, верстатів, а також предметів широкого споживання).

Полірувальний круг - це м'який еластичний інструмент, на який за допомогою клею нанесений шар абразивних зерен або нанесена полірувальна

паста. Виготовляються з фетру і войлоку, з різних тканин, пресованого паперу, гуми, пластмаси, шкіри і тому подібне [10].

Войлочний круг (рис. 1.1) буває тонкошерстий, напівгрубошерстний і грубошерстний [11]. Тонкошерсті круги застосовують для обробки особливо відповідальних деталей машин і приладів. Напівгрубошерстні круги використовують при поліруванні хірургічних інструментів, деталей точних вимірювальних приладів і так далі, що вимагають високої якості обробки. У інших випадках застосовують грубошерстні полірувальні круги. Цей інструмент виготовляється виключно з щільних сортів шерсті, інакше матиме місце швидкий знос круга.



Рисунок 1.1 - Войлочний полірувальний круг

Войлочні круги краще працюють при невисоких кутових швидкостях. Рекомендуються швидкості 5-10 м/с. Зайва швидкість робить поверхню круга твердіше, і в той же час під дією збільшеної відцентрової сили поліруючий склад зривається з войлочного круга і витрачається марно.

По будові вовняні волокна діляться на пух, перехідний волос та мертвий волос. Пух є найбільш еластичними волокнами з найбільшою кількістю лусочок на поверхні, мертвий волос - найбільш грубі, позбавлені еластичності волокна, поверхня яких не має лускатої будови. Відповідно до цього войлок розрізняється складом волокон (таблиця. 1.1).

Таблиця 1.1 - Склад волокон інструменту

Найменування войлоку	Зміст волокон в войлоці (масова частка), %			
	Пух	Перехідний волос	Ость	Мертвий волос
Тонкошерстий	90	5	5	-
Напівгрубошерстний	30	30	35	5
Грубошерстний	15	5	75	5

Текстильні круги виготовляють з бавовняної тканини шляхом склеювання і опресування окремих зшитих секцій. Круги, виготовлені з кіперної тканини, добре зчіплюються з клеєм і відрізняються великою стійкістю. Низькосортні текстильні полірувальні круги виготовляються зі всіляких відходів тканин і бувають трьох типів: дискові (непрошиті), секційні і набірні (прошиті), а також спеціальні.

Непрошиті дискові круги виготовляються з однорідної тканини. Їх збирають з окремих дисків (до 20 шт. і більше на круг) або з дисків, прошитих в 2-3 рядки навколо отвору. Диски штампують на пресі або вирізують вручну. Ці круги легко монтуються на шпинделі верстата, добре урівноважуються і працюють, забезпечуючи високу якість обробки аж до дзеркального блиску полірованої поверхні.

При виготовленні дискових кругів з квадратних шматків матерії шматки розташовують так, щоб кути матеріалу були зміщені один відносно одного по колу (рис. 1.2).

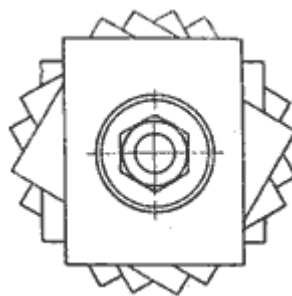


Рисунок 1.2 - Дисковий непрошитий текстильний круг

Таке укладання квадратних шматків збільшує стійкість круга і дозволяє економити матеріал.

Матерчатими дисковими кругами можна обробляти різні деталі - від простих до найскладніших, забезпечуючи високу якість їх обробки.

Секційні круги можуть бути з цілісних матерчастих дисків або з окремих шматків матерії, укладених між двома матерчастими дисками. Матерчасті диски, зібрані в секції по 15-20 шт., прошивають на спеціальних машинах. Секції, набрані з окремих шматків, повинні мати товщину, що відповідає товщині секцій з цілісних дисків. Існує багато видів прошивок. Деякі з них показані на рис. 1.3.

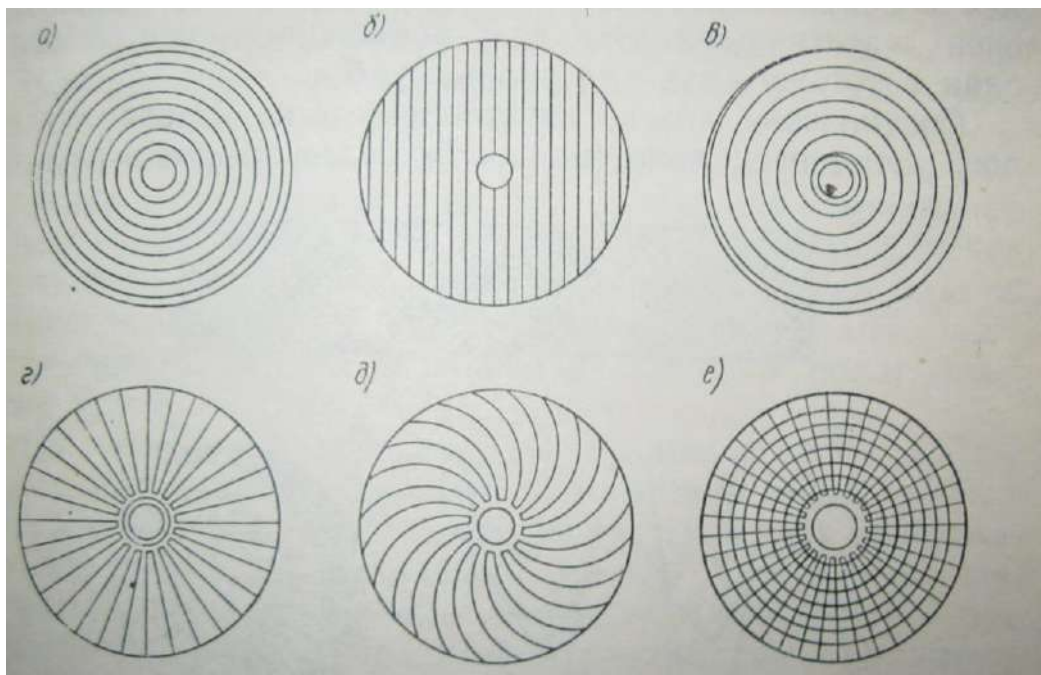


Рисунок 1.3 - Види прошивок секційних полірувальних кругів

Після прошивки секцій в центрі пробивають отвір, збирають круг, обточують і при необхідності профілюють.

Набірні круги виготовляють з матерчастих дисків або сегментів. На рис. 1.4 показана схема виготовлення з дисків. Кожен диск складається вчетверо. Отримані сегменти вставляють один в інший до

укомплектовування повного круга. Сегменти розташовують так, щоб вони по периферії круга як би входили один в одного "стрілками", потім круг прошивають і обточують.

В утворених сегментами складках добре утримуються поліруючі пасти. При обертанні круга в напрямі, зворотному "стрілкам" складених сегментів він чинить сильну поліруючу дію, а при зміні напрямку обертання круга сегменти стають дуже еластичними. Це дає можливість використати один і той же круг для різних робіт.



Рисунок 1.4 - Схема виготовлення набірної текстильного полірувального круга

Спеціальні круги, виготовлені з матерчастих смуг, мають декілька типів. Найбільш прості у виготовленні круги, складені із смуги, згорнутої у вигляді спіралі (рис. 1.5).

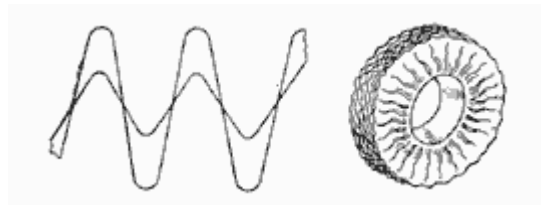


Рисунок 1.5 - Спеціальний текстильний полірувальний круг

У складках таких кругів добре утримуються полірувальні пасти. Вони так само, як і набірні круги, добре вентилуються в процесі полірування і дають можливість працювати з підвищеним тиском.

Паперові круги виготовляють з листів гладкого і гофрованого паперу пресованими і прошитими. Ці круги характеризуються великою жорсткістю, тому при обробці ними важко отримати високі класи чистоти поверхні.

Круги з гофрованого паперу еластичні і дають чистішу поверхню, ніж круги з гладкого паперу. Паперові круги стійкіші, ніж текстильні, але вони значно важче войлочних і текстильних.

Переваги застосування еластичних полірувальних кругів:

- використання дешевого устаткування;
- висока якість оброблених поверхонь (до 12 класу чистоти);
- завдяки еластичності цим інструментом можна обробити тонкостінні вироби;

- є можливість профілізації і обробки простих фасонних поверхонь.

До недоліків застосування цього інструменту можна віднести:

- висока вартість деяких видів інструменту (войлочний круг);
- інструмент схильний до сильного зносу;
- мала продуктивність обробки;
- застосування додаткових полірувальних паст;
- мала жорсткість інструменту, що не дозволяє вести обробку деталей, виконаних з важкооброблюваних і жароміцних сплавів;
- неможливість обробки складнопрофільних виробів з важкодоступними ділянками.

1.2.2 Хімічні методи полірування

Хімічне полірування принципово відрізняється від механічного. Оброблені цими методами полірування деталі також надають блиск, привабливу і гладку поверхню. Ці методи обробки здійснюються розчинами, що містять активні добавки [10].

Існують наступні методи хімічної поліровки поверхонь:

- а) власне хімічне полірування;
- б) електрохімічне полірування;

в) плазмово-електрохімічне полірування.

Головною особливістю хімічних методів полірування є видалення вершин шорсткості, при цьому зберігається хвилястість оброблюваної поверхні і риси шорсткості, утворені на попередніх етапах обробки [12].

Хімічне полірування полягає в тому (рис. 1.6), що оброблювану деталь занурюють на деякий час в посудину з хімічно активним розчином 2, де в результаті виникаючих хімічних і місцевих електрохімічних процесів відбувається розчинення металу. Шорсткість поверхні 1 зменшується або зовсім усувається, при цьому оброблена поверхня набуває блиску. Усі процеси хімічного полірування супроводжуються бурхливим виділенням газів і пари кислот або лугів 3.

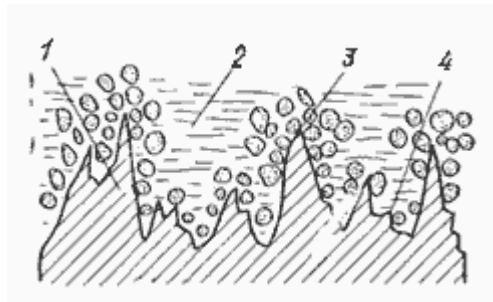


Рисунок 1.6 - Схема хімічного полірування поверхні

В процесі полірування рекомендується перемішувати розчин або струшувати деталі в місткості. Це дає можливість усувати скупчення бульбашок газів на окремих ділянках деталей, оскільки бульбашки газів знижують якість полірування [13].

Цей метод обробки має наступні переваги:

- простота методики полірування;
- обробка виконується без механічної дії, що дозволяється обробляти тонкостінні і складнопрофільні поверхні деталей без зміни початкових геометричних розмірів;
- малий основний час обробки;

- метод хімічного полірування не вимагає складного і дорогого устаткування.

До недоліків цього методу обробки можна віднести наступне:

- малий термін служби хімічних розчинів;
- складність коригування точних співвідношень усіх елементів в розчині шляхом додавання витраченого елементу для забезпечення постійності необхідної якості поверхні;
- неможливість обробки відповідальних поверхонь деталей із-за корозійної дії і зміни хімічного складу тонкого поверхневого шару;
- надзвичайна небезпека для здоров'я людини хімічних розчинів - потрібні засоби захисту і вентиляції;
- необхідність утилізації витрачених розчинів.

Електрохімічним поліруванням називається процес обробки поверхні металів, що призводить до зменшення шорсткості і появи дзеркального блиску електрохімічним способом.

Для здійснення електрохімічного полірування оброблювану деталь, що є анодом потрібно помістити у ванну з електролітом. Другим електродом служать катоди, виготовлені з міді. На схемі (рис. 1.7) показано протікання процесу електрохімічного полірування.

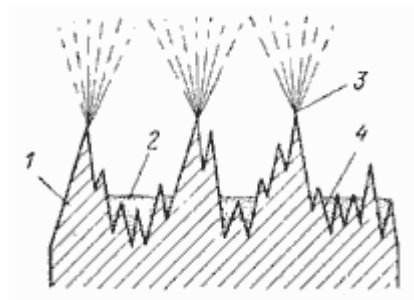


Рисунок 1.7 - Схема електрохімічного полірування

Завдяки спеціально підібраному складу електроліту і створюваним умовам (утворення плівки 2 підвищеного опору) розчинення здійснюється нерівномірно. В першу чергу розчиняються точки, що найбільш виступають,

3 (виступи), внаслідок чого шорсткість зменшується, а потім зникає, і поверхня деталі стає гладкою і блискучою [14, 15].

Видалення великих виступів 3 називається макрополіруванням, а розчинення мікроскопічно малих нерівностей 4 - мікрополіруванням. Якщо макро- і мікрополірування протікають одночасно, то поверхня набуває гладкість і блиск. У ряді випадків ці якості можуть бути незв'язаними один з одним, тобто блиск може досягатися без згладжування, а згладжування - без блиску.

В процесі електрохімічного полірування на поверхні анода (полірованої деталі) утворюється окисна або гідроокисна плівка. Якщо ця плівка рівномірно покриває поверхню, то вона створює умови, необхідні для протікання мікрополірування. Зовнішня частина цієї плівки безперервно розчиняється в електроліті. Тому для успішного проведення процесу необхідно створення умов, в яких існувала б рівновага між швидкостями утворення окисної плівки і швидкістю її хімічного розчинення з тим, щоб товщина плівки підтримувалася незмінною. Наявність плівки обумовлює можливість обміну електронами між полірованим металом і іонами електроліту без небезпеки місцевого руйнування металу агресивним електролітом.

Макрополірування також є процесом, залежним від наявності прианодної плівки. Будучи товщою в поглибленнях і тоншою на виступах, ця плівка сприяє їх прискореному розчиненню, оскільки на виступах створюється більш висока щільність струму, а електричний опір над ними менший, ніж над поглибленнями.

Ефективність дії плівки збільшується з підвищенням її внутрішнього опору. Електроліти, що містять солі слабодисоціюючих кислот або комплексні солі, підвищують опір плівки.

Окрім дії прианодної плівки на течію процесу електрохімічного полірування впливають і інші чинники, зокрема механічне перемішування електроліту (чи рух анода), що сприяють потоншенню плівки за рахунок її

розчинення або зменшення товщини дифузійного шару. Електроліти деяких складів функціонують нормально тільки при нагріві. Загальним правилом є те, що підвищення температури знижує швидкість нейтралізації і підвищує швидкість розчинення прианодної плівки.

Переваги електрохімічного полірування:

- дуже висока якість поверхні (менше значення шорсткості порівняно з механічними і хімічним методом полірування);
- велика корозійна стійкість оброблених поверхонь;
- можливість обробки тонкостінних і складнопрофільних виробів без зміни початкових геометричних розмірів;
- висока продуктивність процесу обробки (від декількох секунд до декількох хвилин залежно від матеріалу оброблюваної деталі).

До недоліків цього методу обробки можна віднести наступне:

- малий термін служби хімічних розчинів;
- надзвичайна небезпека для здоров'я людини хімічних розчинів - потрібні засоби захисту і вентиляції;
- додаткові витрати на електроенергію для здійснення електролізу.

Плазмово-електрохімічне полірування метод обробки, який заснований на використанні явища спонтанних імпульсних електричних розрядів, що відбуваються поблизу поверхні оброблюваного виробу, зануреного у ванну з сольовим електролітом слабкої концентрації. Катодом електричного ланцюга служить сама ванна, анодом - оброблюваний виріб, підключений до джерела напруги 270-330 В. За певних умов поблизу поверхні виробу утворюється тонка парогазова плівка, в якій пульсують розряди плазми. Взаємодіючи з вершинами мікронерівностей, імпульсні розряди змінюють топографію зануреної в електроліт поверхні [16].

Переваги плазмово-електрохімічного полірування наступні:

- як електроліт використовують низько концентровані водні розчини нешкідливих для здоров'я і дешевих солей замість міцних розчинів

шкідливих і дорогих кислот, використовуваних в електрохімічному поліруванні;

- висока продуктивність полірування (у 5-6 разів вище за аналогічні, які здійснюються механічним способом, і в 3-4 рази вище за електрохімічний);

- висока чистота обробленої поверхні;

- є можливість очищення від задирок завтовшки до 0,3 мм.

Недоліки цього методу полірування:

- застосування дорогого устаткування;

- підвищена витрата електроенергії (порівняно з електрохімічним поліруванням) зважаючи на високу робочу напругу (відповідно 200 - 500 В і 6 - 30 В).

1.2.3 Полірування абразивною шкіркою і стрічкове полірування

Шліфувальна шкірка або стрічка складається з основи - полотна або паперу і шару абразивних зерен, закріплених на основі за допомогою клею або смоли.

Полірування шліфувальною шкіркою здійснюють вручну або за допомогою недорогих і простих пристосувань. При цьому шліфувальну шкірку закріплюють на спеціальному диску, який приводять в обертання. Диск підводять до оброблюваної поверхні і легким натиском полірують її.

Переваги полірування шліфувальною шкіркою:

- простота складання інструменту;

- використовується просте і дешеве устаткування.

Недоліки цього методу обробки:

- неможливість обробки складнопрофільних виробів;

- рівномірність якості поверхні залежить від умінь і навичок робітника, що виконує обробку;
- велика трудомісткість операції.

При стрічковому поліруванні натягнута між двома шківками нескінченна абразивна стрічка приводиться в рух із швидкістю 25 - 30 м/с, а оброблювана деталь отримує необхідні рухи подачі. Технологія полірування абразивною стрічкою залежить від конфігурації і розмірів оброблюваного виробу, необхідного класу чистоти поверхні і точності, матеріалу деталі, а також від кількості деталей в партії. Чистота полірованої поверхні при обробці абразивними стрічками досягає 11 - 12 класів чистоти залежно від зернистості абразивних зерен, параметрів інструменту і режимів обробки [17].

Розрізняють наступні способи шліфування абразивною стрічкою:

- полірування на вільній гілці стрічки;
- контактне полірування;
- безцентрово-стрічкове полірування;
- полірування рулонною стрічкою.

Полірування на вільній гілці стрічки застосовують для обробки криволінійних поверхонь деталей і профільних отворів.

Вузька абразивна стрічка пропускається через оброблюваний отвір деталі і натягається між ведучим і ведомим роликками. Щоб забезпечити натягнення стрічки, знімання і установку при вкладанні її в отвір нової оброблюваної деталі, направляючий ролик забезпечують натяжною пружиною.

Контактне полірування є найбільш поширеним видом стрічкового полірування (рис. 1.8).

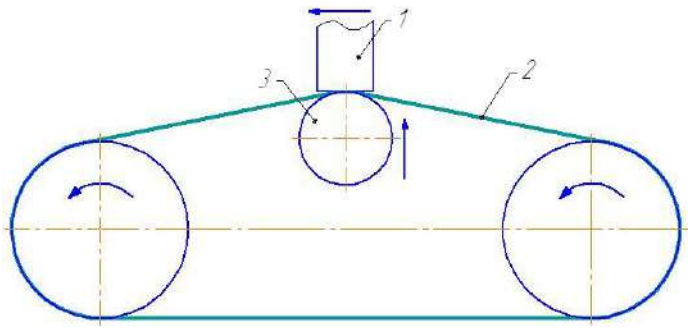


Рисунок 1.8 - Схема контактного полірування

Верстати, працюючі по цьому методу, відрізняються простотою конструкції і універсальністю. При обробці деталь 1 підводять до стрічки 2 і притискають до зони її контакту з роликом 3, який є ведучим (або додатковим при використанні профільного ролика, який ставиться між ведучим і натяжним роликами). Ефективність полірування залежить не лише від характеристики стрічки, але і від правильного вибору контактного ролика.

Контактний ролик є алюмінієвим диском з еластичним ободом завтовшки 3-15 мм, що виготовляється з гуми, фібри, фетру, тканини і інших матеріалів (рис. 1.9).

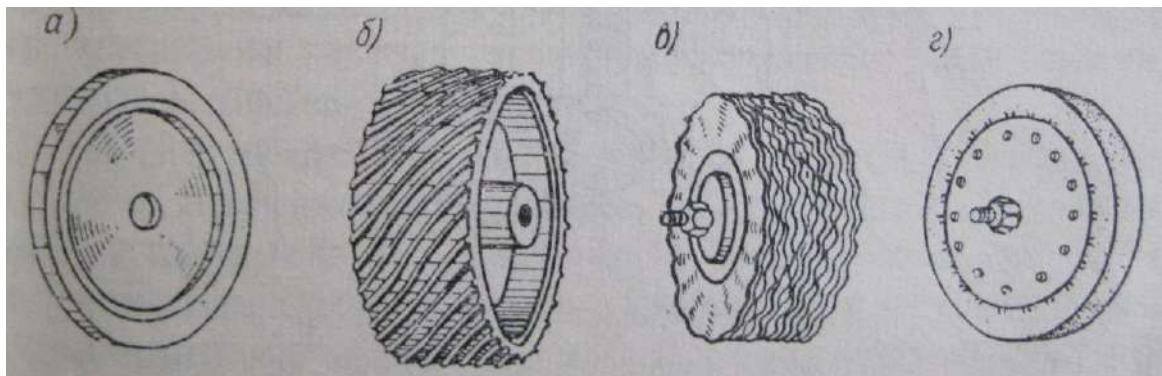


Рисунок 1.9 - Контактні ролики з ободами: а) з гладкої гуми; б) з ребристої гуми; в) з тканини; г) з фібри

Безцентрово-стрічкове полірування застосовують для обробки прутків і труб з різних матеріалів. Схема цього методу обробки показана на рис. 1.10.

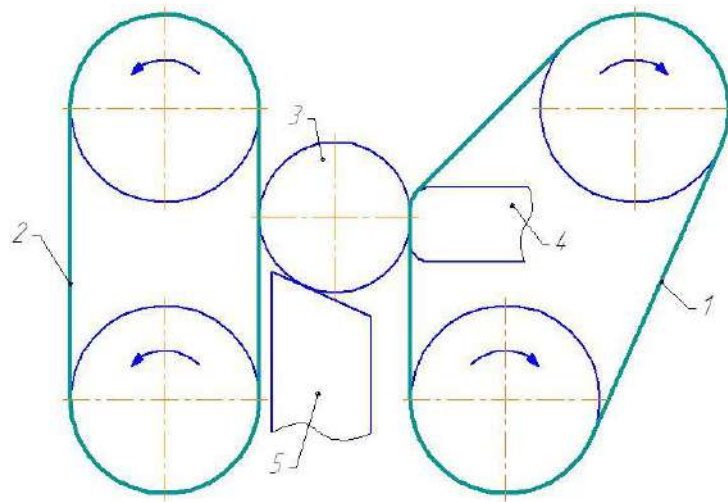


Рисунок 1.10 - Схема безцентрово-стрічкового полірування

Верстати для безцентрового полірування мають дві бабки - з робочою 1 і ведучою нескінченними стрічками 2. Для виключення провертання деталі 3 провідна стрічка підтискається підкладною плитою 4. Оброблюваний виріб, що знаходиться між двома стрічками, спирається на ніж 5.

Полірування рулонною стрічкою має широке поширення в підшипниковій промисловості. Швидкообертаюча (рис. 1.11) деталь 1 стикається з поліруючою стрічкою 2, яка у міру зносу повільно розмотується з рулону, або зношену ділянку періодично замінюють новим, переміщаючи стрічку після обробки кожної деталі. Притиск стрічки до деталі здійснюється пневматичною або гідравлічною колодкою [17].

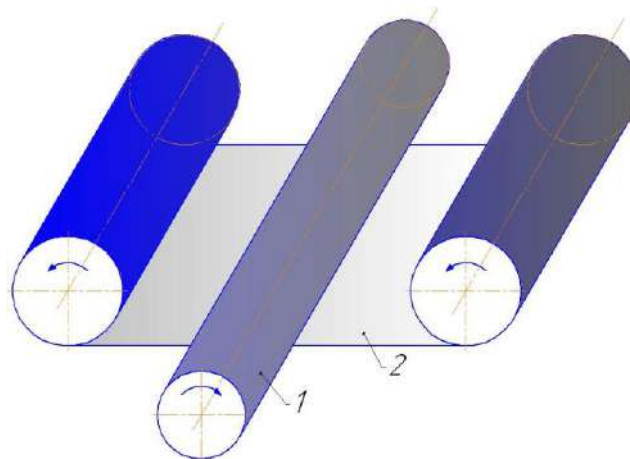


Рисунок 1.11 - Схема рулонного полірування

Переваги полірування шліфувальною стрічкою наступні:

- висока якість обробленої поверхні;
- можливість обробки тонкостінних і складнопрофільних деталей з широким діапазоном габаритних розмірів;
- висока продуктивність обробки.

До недоліків цього методу обробки можна віднести:

- швидкий знос абразивної стрічки;
- застосування складного і дорогого устаткування;
- необхідність застосування ЗОТС.

1.2.4 Гідрополірування

Гідрополірування - полірування струменем абразивної рідини. Є процесом, при якому струмінь абразивної суспензії, виривається з сопла з великою швидкістю, спрямовується на оброблювану поверхню. Тверді абразивні зерна, що знаходяться в зваженому стані, під тиском в декілька атмосфер дають достатню силу і, ударяючись об оброблювану поверхню деталі, залишають на ній неглибокі мікровм'ятини і зрізують риски шорсткості. Внаслідок цього цей метод полірування не дає високих класів чистоти обробленої поверхні, та зате створює наклепування поверхневого шару металу, який покращує експлуатаційні властивості деталі, підвищуючи корозійну стійкість, зносостійкість поверхневого шару, втомну міцність.

Широке поширення в промисловості гідрополірування отримало для очищення фасонних заготовель і деталей. Цей процес дає можливість отримати чистоту поверхні до 10-го класу, не вимагає складних наладок для обробки фасонних деталей.

На рис. 1.12 наведений приклад схеми гідрополірувальної установки.

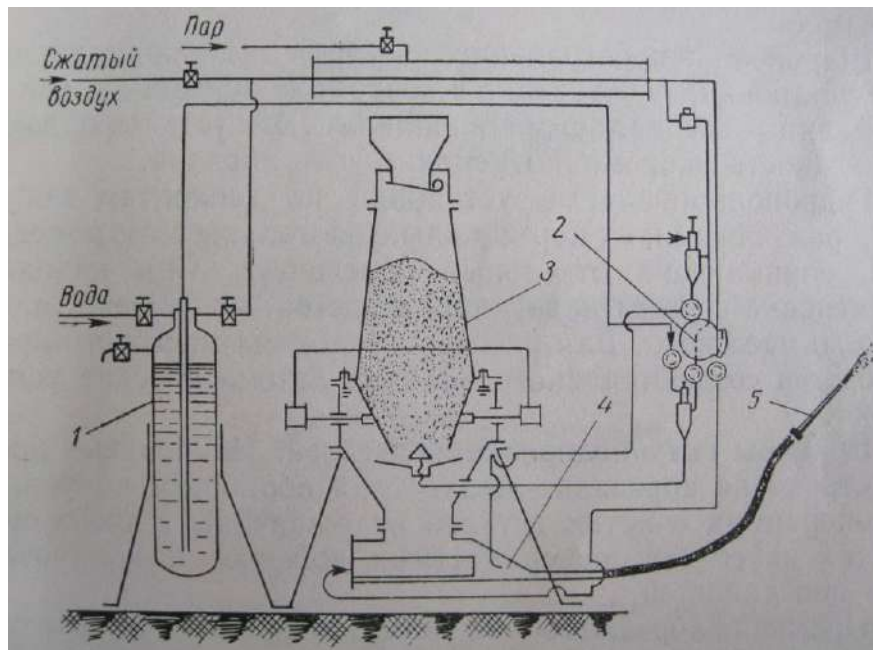


Рисунок 1.12 - Схема гідрополірувальної установки

Принцип роботи цієї установки наступний. Стисле повітря подається у балон 1 (з водою), з якого вода під тиск 4,5 - 7 атм. через голчастий клапан механізму управління і регулювання 2 подається в камеру змішувача 4, з якої пневмогідроабразивна суміш спрямовується через сопло 5 на оброблювану поверхню [9].

До переваг гідрополірування можна віднести наступне:

- можливість обробки складнопрофільних деталей;
- утворення наклепування поверхневого шару і наведення стискуючої залишкової напруги;
- висока продуктивність обробки.

Недоліки:

- великий рівень шуму при здійсненні обробки;
- неможливо отримати високу чистоту оброблюваної поверхні.

1.3 Магніто-абразивна обробка

Магніто-абразивна обробка - обробка з вільним і рухомо-скоординованим зерном абразивна обробка. Процес різання робиться при повідомленні елементів порошку кінетичної енергії тих, що відносно знаходяться у спокої, вібруючих або таких, що рухаються з постійною швидкістю виробів. При магніто-абразивній обробці єдальною речовиною слугує енергія електромагніту [18].

На рис. 1.13 показана принципова схема магніто-абразивної обробки тіл обертання. Принцип обробки за цією схемою наступний. Оброблювана деталь поміщається між полюсними наконечниками електромагніту з деякими проміжками, в які подається порошок, що має магнітні і абразивні властивості. Механічним приводом повідомляється деталі обертальний і осцилюючий уздовж вісі рух. Силами магнітного поля зерна порошку утримуються в робочих проміжках, притискаються до поверхні деталі і здійснюють її обробку. У робочі зони подається ЗОТС.

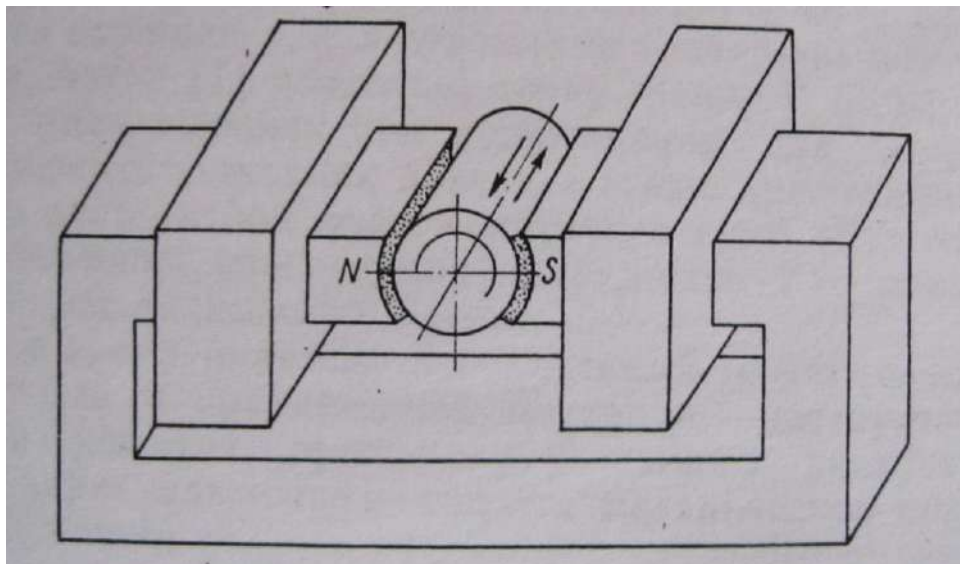


Рисунок 1.13 - Схема магніто-абразивної обробки

Ще одним різновидом застосування магнітного поля при виконанні абразивної обробки є його використання спільно з іншими методами абразивної обробки. На рис. 1.14 показаний пристрій для інтенсифікації віброабразивної обробки.

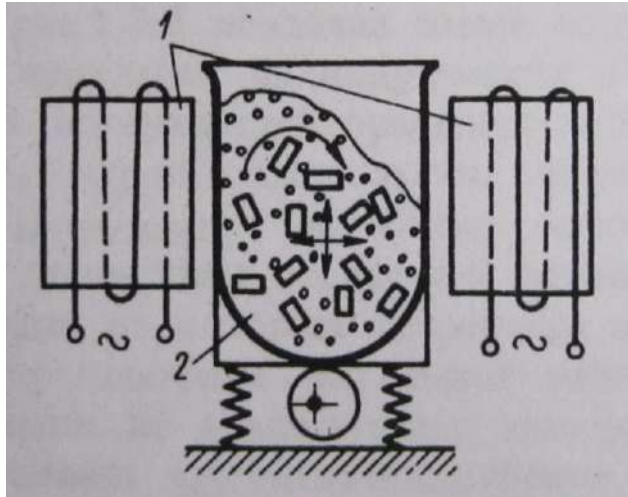


Рисунок 1.14 - Пристрій для інтенсифікації віброабразивної обробки

На цій схемі бачимо, що при включенні електромагніту 1, що охоплює вібруючий контейнер 2, імпульсне або таке, що обертається магнітне поле перешкоджає руху феромагнітних заготовель разом з абразивним середовищем. В результаті збільшується швидкість переміщень абразивних елементів відносно заготовель і збільшується продуктивність віброабразивної обробки. У разі немагнітних заготовель для отримання аналогічного ефекту абразивне середовище повинне мати феромагнітні властивості.

Особливостями методу магніто-абразивної обробки є безперервний контакт абразиву з поверхнею виробу, що знижує циклічні навантаження на систему ВПД і сприяє поліпшенню точності геометричних розмірів і форми оброблюваної поверхні; відсутність жорсткого кріплення абразивного зерна в зв'язці, сприяюче мимовільній нівеляції різального тіла відносно складної фігури оброблюваної поверхні і, що усуває вірогідність появи в зоні різання критичних тисків і температур; можливість управління жорсткістю абразивного інструменту інтенсивністю магнітного поля і за рахунок цього є

можливість регулювання знімання металу з поверхні виробу, при цьому поєднуючи чорнову, чистову і фінішну обробку без переустановлення деталі; зниження температури в зоні обробки за рахунок відсутності тертя зв'язки об поверхню виробу; немає необхідності в правці інструменту; при магніто-абразивній обробці відбувається зміцнення поверхневого шару і зниження розтягуючої залишкової напруги з перекладом їх в стискаючі; здійснення розмірної і безрозмірної обробки з інтенсивністю знімання шару припуску до 1 мкм; шорсткість обробленої поверхні досягає 11...12 класів чистоти [19].

До переваг магніто-абразивної обробки можна віднести наступне:

- висока якість обробленої поверхні;
- можливість обробки тонкостінних (товщина стінки від 0,05 мм) і складнопрофільних поверхонь);
- висока продуктивність;
- значне зменшення (у 8-10 разів) штучного часу за рахунок можливості одночасної обробки декількох виробів;
- застосування дешевого магніто-абразивного порошку.

До недоліків цього методу відносяться:

- застосування ЗОТС;
- додаткові витрати часу на демагнітизацію і миття оброблених деталей;
- складність і дороговизна вживаного устаткування при здійсненні обробки складнопрофільних виробів.

1.4 Кавітаційно-абразивна ультразвукова обробка

Цей метод обробки застосовується для руйнування задирок і заокруглення гострих кромek без ушкодження поверхні деталі. Принцип абразивної кавітаційної обробки наступний. Тверді тіла руйнуються в

звуковому полі, в основному, за рахунок кавітації, що виникає в рідині при поширенні ультразвукових коливань високої інтенсивності. Закриття порожнин кавітацій супроводжується утворенням ударних хвиль, під дією яких відбувається мікроударне руйнування поверхні твердих тіл і утворення вогнищ ерозії.

Інтенсивність руйнування кавітації, а також швидкість акустичних течій, можна істотно збільшити, якщо рідина знаходиться під підвищеним статичним тиском. Якщо за даних умов в рідину додати абразивні частки розміром не більше 10 мкм, то разом з руйнуванням чисто кавітації твердих тіл, в звуковому полі їх поверхні інтенсивно обробляються найдрібнішими абразивними частками, що знаходяться в зваженому стані.

На рис. 1.15 показана ультразвукова установка для зняття задирок. Принцип роботи цієї установки простий. Через магнітострикційний перетворювач 1 і інструмент 2 в робочу камеру 3 поступають звукові коливання ультразвукової частоти, в якій знаходяться оброблюваний виріб і робоча гідроабразивна суміш під завищеним статичним тиском.

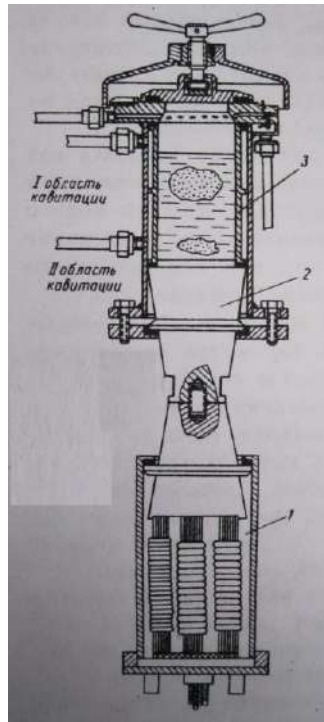


Рисунок 1.15 - Ультразвукова установка для зняття задирок

Характерною особливістю процесу обробки є його вибірковість: в першу чергу руйнується місце з'єднання задирки з поверхнею деталі і гостра кромка задирки. Це відбувається, з одного боку тому, що на межі задирка - деталь скупчуються бульбашки кавітацій, а з іншого боку ця межа, як і гостра кромка, є слабким місцем деталі, в якому створюються місцеві концентрації напруги, виникають мікротріщини і інші поверхневі дефекти, сприяючи прискореному руйнуванню кавітації [20].

Переваги кавітаційно-абразивної ультразвукової обробки :

- можливість видалення задилок і заокруглення гострих кромek без руйнування поверхонь оброблюваної деталі;

- можливість обробки деталей складного профілю і конфігурації.

До недоліків цього методу обробки можна віднести наступне:

- великий рівень шуму внаслідок застосування ультразвуку;
- необхідність застосування високоякісного дрібнозернистого абразивного порошку;
- залишкові мікроруйнування поверхні в зоні обробки.

1.5 Вібраційна обробка

Вібраційна обробка залежно від характеру вживаного робочого середовища є механічним або хіміко-механічним процесом знімання найдрібніших часток металу і його оксидів з оброблюваної поверхні, а також згладжуванням мікронерівностей шляхом їх пластичної деформації частками робочого середовища, що здійснюють в процесі роботи коливальні рухи. Процес супроводжується послідовним нанесенням на поверхню оброблюваних деталей великого числа мікроударів частками робочого середовища при їх взаємному зіткненні і ковзанні. Удари викликані дією

спрямованих вібрацій, що повідомляються робочій камері, в якій розміщені оброблювані деталі і робоче середовище [21].

Схема установки для вібраційної обробки показана на рис. 1.16.

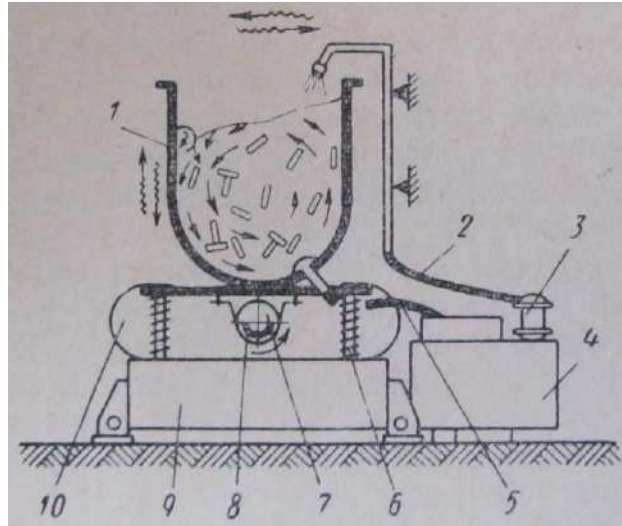


Рисунок 1.16 - Схема вібраційної установки

Принцип вібраційної обробки наступний. Оброблювані деталі завантажуються в робочу камеру 1, заповнену робочим середовищем необхідної характеристики. Робоча камера 1, змонтована на пружинах 6 і 10 може коливатися в різних напрямках. Ця камера піддається вібрації від інертного вібратора 7 (від валу, що обертається, з незбалансованими вантажами 8) з частотою обертання 900-3000 об/хв і амплітудою 0,5-9 мм. В процесі вібрації деталі і робоче середовище безперервно піддається змінним по знаку прискоренням. Робоче середовище і оброблювані деталі відносно переміщаються, здійснюючи два види рухів: коливання і повільне обертання усієї маси (циркуляційний рух).

Процес обробки може протікати насухо, з періодичним заповненням або безперервним промиванням розчином необхідного складу. Рідина сприяє охолодженню, а також видаленню продуктів зносу і часток робочого середовища з оброблюваних деталей. Інтенсивність вібраційної обробки залежить від режимів і тривалості обробки, характеристик розмірів робочого

середовища, об'єму робочої камери і міри її заповнення, а також механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей.

До складу робочого середовища входять: твердий наповнювач у вигляді абразивів (абразивна крихта, шліфзерно, галька, вапняк, граніт) і неабразивних матеріалів (предмети різної форми з металів, деревини, пластмас, шкіри, гуми); рідкий наповнювач (ЗОТС) у вигляді водних розчинів з різного роду добавками, що мають необхідні властивості (миючими, розділяючими, такими, що труять, пасивуючими та ін.), циркулюючий безперервно через робочу камеру або змінюваний періодично.

Вібраційна обробка дозволяє отримати високу якість обробленої поверхні (до 10-11 класів чистоти).

Також цей метод обробки використовується для зміцнення поверхневого шару деталей і наведення стискуючої залишкової напруги.

Метод вібраційної обробки застосовується при видаленні задирки і притуплюванні гострих кромek [22].

До переваг вібраційної обробки можна віднести наступне:

- висока якість обробленої поверхні;
- можливість обробки складнопрофільних і тонкостінних поверхонь;
- наведення стискуючої залишкової напруги і наведення наклепування в поверхневому шарі оброблюваної деталі;
- можливість одночасної обробки великої партії деталей.

Цей метод обробки має наступні недоліки:

- великий рівень шуму при здійсненні обробки;
- великі габаритні розміри установки при обробці великогабаритних виробів.

1.6 Турбоабразивна обробка в псевдо-сжиженому шарі абразиву

Турбоабразивна обробка в псевдо-сжиженому шарі абразиву (ПСА) є полірувально-зміцнюючим методом обробки деталей, в результаті якої забезпечується:

- зняття задирка;
- заокруглення гострих кромek (мінімальна величина радіусу заокруглення R до 0,3 мм);
- шорсткість поверхні Ra до 0,5 мкм;
- наведення стискуючої залишкової напруги в поверхневому шарі (величина стискуючої залишкової напруги досягає порядку $\sigma_{ост} = 200 \text{ МПа}$ на глибині поверхневого шару до 20 мкм).

На рис. 1.17 показана схема турбоабразивної обробки в ПСА. Принцип обробки наступний. Оброблюваний виріб (в даному випадку це зварний барабан ротора компресора ГТД) встановлюється на шпинделі 2, який знаходиться в робочій камері 3. Оброблювана деталь 1 занурена в шар псевдозрідженого абразиву на глибину h (складова як правило 0,8...1 радіусу виробу), який знизу утримується спрямованим потоком повітря.

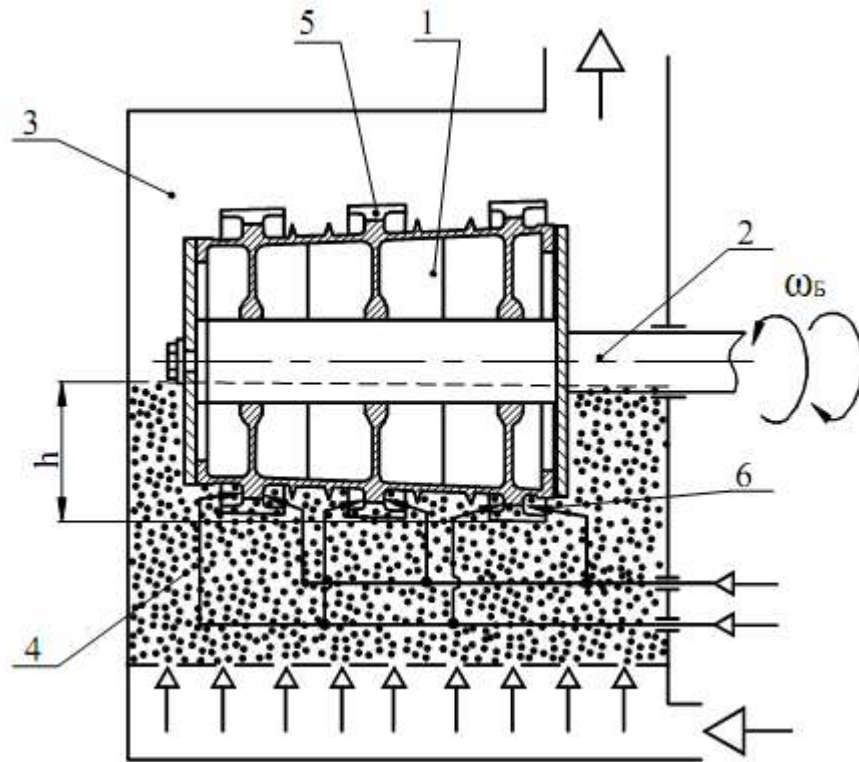


Рисунок 1.17 - Схема турбоабразивної обробки в ПСА

Також через сопла 6 подається стисле повітря, завдяки чому відбувається інтенсивне зіткнення часток абразиву з поверхнею деталі - пазами диска 5. Шпинделю з деталлю сполучається обертальний рух, внаслідок чого відбувається рівномірна обробка по усій поверхні деталі. Час обробки складає близько 5-10 хв залежно від матеріалу оброблюваного виробу.

При певній швидкості потоку повітря сили гідродинамічного тиску урівноважують масу абразивних часток, їх шар стає в'язким і текучим, набуваючи властивість киплячої рідини; при цьому частки абразиву здійснюють в шарі хаотичний турбулентний рух, що забезпечує інтенсивне переміщення абразиву і його оновлення в зоні обробки [23].

Турбоабразивна обробка в ПСА має наступні переваги:

- можливість обробки тонкостінних і складнопрофільних деталей;
- велика продуктивність (як за рахунок малого машинного часу, так і можливості установки декількох виробів на шпинделі);

- наведення стискуючої залишкової напруги;

Цей метод обробки має наступні недоліки:

- невисока якість обробленої поверхні (до 7 класу шорсткості);
- цим методом доцільно вести обробку деталей типу тіл обертання.

1.7 Обробка металевими щітками

Металеві щітки, що обертаються, використовуються при виконанні наступних операцій: зняття задирок і заокруглення гострих кромek; очищення поверхонь від окалини, іржі, фарби, лаків, бруду; зачистки зварних швів; очищення поверхонь поковок і відливань; виконання фінішних операцій і надання необхідної якості оброблюваній поверхні. Також металеві щітки, зважаючи на свою високу жорсткість, можна використати в зміцнюючих операціях.

Обробка деталей щітками дозволяє усувати гострі кути, подряпини, забоїни, риски, чим вдається розосередити напругу, що концентрується на гострих гранях. Це запобігає утворенню гартівних тріщин при термообробці і тріщин на поверхнях деталей під час їх експлуатації, підвищуючи тим самим втомну міцність металу.

Особливістю застосування металевих щіток є неможливість зняття значного шару матеріалу, внаслідок чого цей інструмент не застосовується для розмірної обробки. При цьому за рахунок еластичності волокон щітка копіює профіль оброблюваної поверхні, зберігаючи її форму. При виконанні оздоблювальної обробки металевими щітками зменшується шорсткість поверхні, і за певних умов і режимів обробки можна отримати якість поверхні 10-12 класів шорсткості [24].

Зменшення висоти і заокруглення гострих вершин мікронерівностей на поверхнях деталей, що піддаються гальванічним покриттям, покращує

якість покриттів і скорочує витрату цінних металів, якими покривають оброблювані поверхні.

Досить широко металеві щітки використовуються з метою отримання шорсткої поверхні і підвищення адгезійної здатності. До таких операцій відносяться: підвищення шорсткості гуми перед склеюванням, очищення поверхні металу від оксидів і окисних плівок при підготовці деталей до пайки, зварюванню і перед забарвленням.

Конструкція металевої щітки досить проста. Цей інструмент має металеву маточину, в якій закріплені волокна. Металеві щітки випускаються різної форми і конфігурації, показані на рис. 1.20.



Рисунок 1.20 - Види металевих щіток: а) торцеві; б) дискові; в) кінцеві

Переваги застосування металевих щіток наступні:

- можливість обробки тонкостінних і складнопрофільних виробів;
- висока продуктивність обробки;
- високий період стійкості інструменту;
- висока якість обробленої поверхні;
- не потрібно складне і дороге устаткування;
- можливість механізації і автоматизації фінішних операцій.

До недоліків застосування цього інструменту відноситься:

- впровадження часток металу волокон інструменту в оброблювану поверхню, що є неприпустимим, зокрема для деталей авіаційної промисловості.

1.8 Обробка полімерно-абразивним інструментом

Полімерно-абразивний інструмент (ПАІ) застосовується для виконання фінішних операцій з метою:

- забезпечення заданої шорсткості поверхні;
- очищення виробів, що були в експлуатації від забруднень, оксидів, оксидних плівок, покриттів, бруду;
- видалення задирок, задирів з поверхні деталі;
- притуплювання гострих кромek і створення радіусів заокруглень.

Існує два види ПАІ:

- шліфувальний круг на полімерній зв'язці;
- ПАІ на основі волокон.

Шліфувальний круг на полімерній зв'язці є інструментом, який застосовується для виконання шліфувальних операцій (рис. 1.21), в якому зв'язкою слугує полімерна основа [25].



Рисунок 1.21 - Шліфувальний круг на полімерній зв'язці

Цей інструмент застосовується для обробки виробів, виконаних з м'яких матеріалів. При цьому, зважаючи на свою жорсткість, шліфувальним кругом можна обробляти деталі простої форми і конфігурації, наприклад деталі типу тіл обертання.

Інструмент на основі полімерно-абразивного волокон є інструментом обертальної дії, і має, як правило, металеву маточину, в якій закріплені волокна (рис. 1.22) [26].



Рисунок 1.22 - Полімерно-абразивний інструмент на основі волокон

Волокно ПАІ складається з двох компонентів:

- поліамід (нейлон) - міцний і високо-еластичний полімерний матеріал, що виступає єдиним елементом;
- абразивні зерна, що безпосередньо беруть участь в процесі різання; матеріал абразиву - електрокорунд нормальний 14А або карбід кремнію 63С.

Процентне співвідношення, в якому знаходиться об'єм абразивних зерен в загальному об'ємі матеріалу волокна, складає близько 40 %.

ПАІ на основі волокна випускається різної форми і конструктивного виконання. Застосування тієї або іншої конфігурації ПАІ обумовлюється формою і кривизною оброблюваної поверхні [27].

Полімерно-абразивний інструмент має наступні технічні характеристики:

- діаметр інструменту D ;
- ширина робочої частини інструменту B - залежить від конструктивного виконання інструменту;

- довжина вільної частини волокна L - залежить від конструктивного виконання ПАІ;

- діаметр волокна d - не більше 1-1,5 мм;

- матеріал абразивних зерен; електрокорунд нормальний 14А або карбід кремнію 63С;

- зернистість абразиву; в межах F90-F280.

Обробка полімерно-абразивним інструментом виконується на наступних режимах [28]:

- швидкість різання V ; залежить від оброблюваного матеріалу;

- подача інструменту (повздовжня подача S , подача на подвійний хід S_{II}); вибираються залежно від умов обробки і оброблюваного матеріалу;

- кількість подвійних ходів N ;

- натяг i , вибирається залежно від оброблюваного матеріалу і умов обробки.

Застосування полімерно-абразивного інструменту має наступні переваги:

- завдяки волокнистій структурі, яка повторює контур оброблюваної поверхні, а також малим зусиллям різання, даним інструментом можлива обробка тонкостінних і складнопрофільних поверхонь виробів, виконаних з різних матеріалів;

- великий період стійкості інструменту (до 600 год);

- висока продуктивність обробки;

- можливість механізувати і автоматизувати фінішні операції;

- висока якість обробленої поверхні (до 10-12 класів шорсткості);

- немає необхідності застосовувати складне і дороге устаткування;

- мала температура в зоні обробці (до 150-200°C);

- обробка ПАІ супроводжується зміцненням поверхневого шару деталі, і наведенням стискуючої залишкової напруги близько 100-150 МПа на глибину поверхневого шару до 50 мкм.

До недоліків цього методу обробки відноситься:

- потрібне застосування ЗОТС, з огляду на те, що полімерний матеріал волокон плавиться при низькій температурі (80...120°C).

Але застосування перерахованих методів не завжди є можливим в зв'язку зі специфікою конструкції авіаційних деталей (наприклад сектор лопаток соплового апарату турбіни, рисунок 1.23). Саме на його прикладі ми і розглянемо докладніше один із методів фінішної обробки.

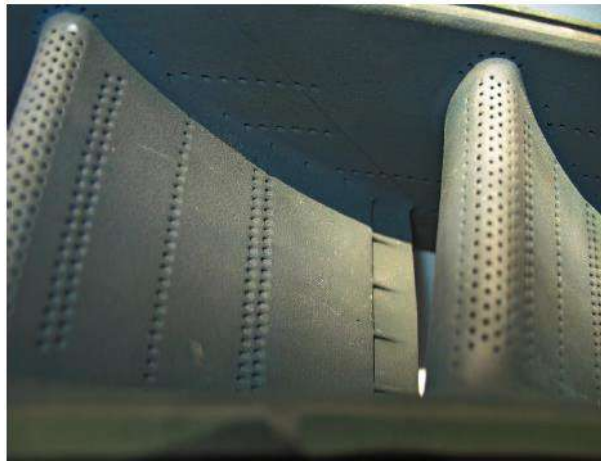


Рисунок 1.23 – Сектор лопаток соплового апарату турбіни

Проаналізувавши перераховані методи фінішної обробки та врахувавши конструкцію сектору лопаток із всіх перерахованих методів фінішної обробки зупинимося на методі віброабразивної обробки, як найбільш відповідний до вимог, встановлених до даної деталі.

1.9 Віброабразивні установки

На даний час найпоширеніше застосування знайшли наступні види установок для віброабразивної обробки [29]:

- віброустановки з горизонтальним валом вібратора та U-подібним контейнером об'ємом 200-1000 л (рис. 1.24);

- віброустановки з вертикальним валом вібратора та кільцевим напіввідкритим контейнером об'ємом 8-200 л (рис. 1.25);
- віброустановки з вертикальним валом вібратора та спіральним напіввідкритим контейнером об'ємом 50 л (рис. 1.26).



Рисунок 1.24 – Віброгалтовка моделі VKT2200-Techbloom



Рисунок 1.25 – Установка фірми RÖSLER серії «R».



Рисунок 1.26 – Віброустановки з вертикальним валом вібратора та спіральним напіввідкритим контейнером

Більшість віброабразивної обробки виконується на вібромашинах з горизонтальним валом та контейнером U-подібної форми. Вібромашини такого типу дозволяють проводити обробку середніх та крупногабаритних деталей та мають просту форму контейнера. Але дані установки мають схильність до утворення зон нерівномірної обробки біля торцевих стінок. Також вони мають високі енергозатрати, погано піддаються автоматизації окремих оброблених деталей у кінці циклу. Вібромашини з вертикальним валом та круглим напіввідкритим контейнером не мають таких недоліків [29].

Якість віброабразивної обробки визначається властивостями наповнювача, його фізичними характеристиками, режимами та тривалістю обробки. Види наповнювачів та їх вплив на шорсткість поверхні буде розглянуто далі в роботі.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

2.1 Зразки для проведення експериментів

Надійність газотурбінних двигунів значною мірою залежить від надійності роботи лопаток компресора і турбіни, оскільки вони є найбільш навантаженими деталями. Вони знаходяться в потоці газу і призначені для зміни його параметрів. Температура газу в турбіні досягає 800...1200 °С, в компресорі – 300...600 °С. Багатократна зміна теплових режимів роботи двигуна – швидкий нагрів у момент пуску і швидке охолодження при зупинці двигуна – викликає циклічну зміну термічної напруги. Лопатка окрім розтягування і вигину від відцентрових сил, вигину і кручення від газового потоку підвержена змінним напругам від вібраційних навантажень, амплітуда і частота яких змінюються в широких межах. В зв'язку з цим стан поверхневого шару та поверхні має великий вплив на експлуатаційні властивості.

В якості зразків для проведення експериментів були взяті сектора лопаток соплового апарату (СА) (див. рис. 1.23 та рис. 2.1), виготовлені з жароміцного ливарного сплаву на нікелевій основі ЖС6У. Лопатки соплових апаратів турбіни виготовляються литвом із сплавів на нікелевій основі – порожнисті (рис. 2.1). Випуск повітря, що поступає на охолодження, в проточну частину турбіни здійснювався через отвори або щілини, розташовані безпосередньо у вихідній кромці або на кориті поблизу задньої кромки лопаток. У внутрішню порожнину лопатки зазвичай встановлюється дефлектор з отворами на передній кромці для організації струминного натікання повітря на внутрішню поверхню передньої кромки лопатки [30].

Хімічний склад даного матеріалу наведено в таблиці 2.1, масова доля елементів вказана у відсотках (%). Також експерименти провели на лопатках останніх ступенів компресора високого тиску (КВТ) авіаційного

газотурбінного двигуна (рис. 2.2). Дані лопатки виготовлені з жароміцного сплаву на нікелевій основі EI698-ВД (ХН73МБТЮ-ВД). Хімічний склад даного матеріалу наведено в таблиці 2.2, масова доля елементів вказана у відсотках (%).

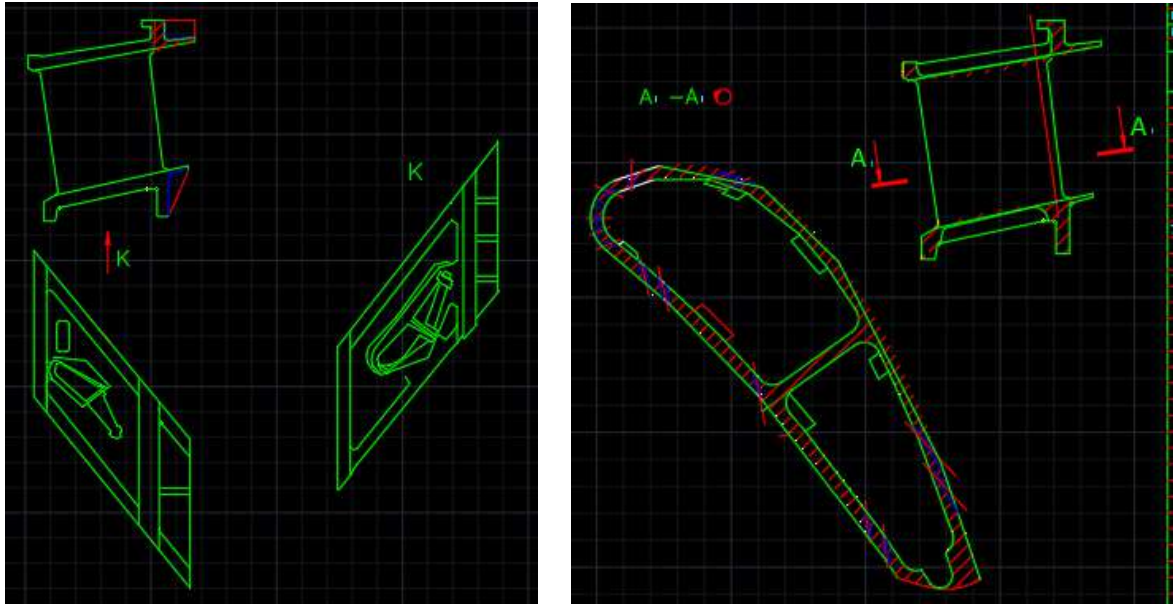


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення лопатки соплового апарату



Рисунок 2.2 – Лопатка компресора високого тиску авіаційного ГТД

Таблиця 2.1 – Хімічний склад матеріалу ЖС6У [31]

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Mo
до 1	0.13-0.2	до 0.4	до 0.4	54.3-62.7	до 0.01	до 0.015	8-9.5	до 0.02	1.2-2.4
W	Co	Nb	Ti	Al	Zr	B	Pb	Bi	Y
9.5-11	9-10.5	0.8-1.2	2-2.9	5.1-6	до 0.04	до 0.035	до 0.001	до 0.0005	до 0.01

Таблиця 2.2 – Хімічний склад жароміцного сплаву на нікелевій основі EI698-ВД(XH73МБТЮ-ВД) [32]

Ni	Al	C	Cr	Fe	Mn	Mo	Nb	P	S	Si	Ti
Основа	1,4-1,8	≤0,08	13,0-16,0	≤2,0	≤0,40	2,8-3,2	1,9-2,2	≤0,015	≤0,007	≤0,5	2,35-2,75

Основним визначальним критерієм оцінки проведеної роботи було досягнення по всіх проточних поверхнях сектора та на поверхні лопаток параметра шорсткості Ra 0,5 мкм. Шорсткість поверхні впливає на міцність деталей та на її експлуатаційні властивості в цілому.

2.2 Устаткування

Роботи проводилися на установці RÖSLER R180DL (рис. 2.2).
Оснащення установки:

- робоча зона без внутрішньої центральної частини становить 180 л;
- двофланцевий двочастотний вібродвигун фірми RÖSLER з безступінчастим регулюванням;
- спеціальне змащування підшипників;
- регулювання дебалансними вантажами;
- отвір для вивантажень.

Режим обробки секторів:

- обробка виконувалася із застосуванням абразивного наповнювача RP 04/05 ZS у поєднанні з пастою RSP 508S та безперервною подачею компаунду ZF 113;
- амплітуда (частота) коливань – 50 Гц;
- рух абразивного наповнювача – реверсний;

- загальний час віброполірування кожного сектора – 8 год: обробка з пастою протягом 6,5 год плюс обробка з інтенсивним промиванням протягом 1,5 год;

- віброполірування секторів виконувалось із закріпленням по центральній осі робочої камери у пристосуванні У6383-00-5540 (рисунок 2.3).



Рисунок 2.1 – Кругова установка фірми RÖSLER R180DL.



Рисунок 2.2 – Сектор лопаток, закріплений в зоні обробки деталей

На проточних поверхнях секторів, до та після віброполірування, були виконані вимірювання параметрів шорсткості поверхні.

Полірування компресорних лопаток здійснювали на тій же установці (рис. 2.4) з такими ж режимами як і лопатки сектору соплового апарату. Єдиною відмінністю було їх закріплення при обробці. Компресорні лопатки на відміну від лопаток соплового апарату не закріплюються жорстко в установці, а навалюються туди насипом (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд лопаток КВТ у віброполірувальній установці перед обробкою

Після обробки розчин, який використовували для обробки деталей очищують на промивочній установці фірми RÖSLER (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Промивочна установка фірми RÖSLER

Після очищення розчину його можливо використовувати знову в технологічному процесі фінішної обробки.

2.3 Види наповнювачів

Для віброполірувальних установок існує велика кількість наповнювачів. Вони мають різну форму, розміри та виготовлені з різних матеріалів. Найпоширенішими матеріалами є: сталь, алюміній, кераміка, скло, пластик, поліамід та електрокорунд. Вибір того чи іншого наповнювача залежить в першу чергу від оброблюємого матеріалу, а також від досвіду працівника. З огляду літературних джерел встановлено, що при фінішній обробці виробів, виготовлених з міцних матеріалів, для отримання чистої

гладкої поверхні найкраще використовувати керамічні наповнювачі [33]. Виходячи з того, що шорсткість поверхні лопаток повинна становити Ra 0,5 мкм то в експериментах будемо використовувати керамічні наповнювачі.

В якості наповнювачів використано керамічні наповнювачі фірми Ceramic Media (рис. 2.6, рис. 2.7) [34] як такі, що рекомендовані для використання на віброполірувальних установках фірми RÖSLER. На рисунках зображені наповнювачі наступних видів:

1. Трикутний (D) – це універсальний абразивний елемент, який використовується в якості ефективного недорогокоштовного рішення в багатьох галузях застосування. За рахунок ребристості він забезпечує добрий зйом та дозволяє обробляти заготівлі зі складним контуром.

2. Коловий трикутний (F). Має підвищену механічну стабільність за рахунок збільшення радіусів і менших пошкоджень механічними навантаженнями ніж стандартний трикутний. Використовується в центробіжних установках, або там де потрібна обробка важких заготівель та/або деталей з глухими або просвердленими отворами.

3. Трикутний з косим зрізом (S). Елемент з косим зрізом має більшу ефективність зйому ніж простий трикутник. Подібні елементи дозволяють якісно оброблювати навіть важко подібні задирки та частини заготівель.

4. Трьохпроменева зірка (DZ). Використовується для обробки елементів зубчастого зачеплення або важкодоступних контурів де потрібна обробка елементів особливої форми: найчастіше до дна западини між зубцями можливо дістати тільки трьохпроменевою зіркою або трикутником з косим зрізом. За рахунок збільшення поверхні по зрівнянню зі звичайним трикутником забезпечується довготривале використання без втрати форми.

5. Трьохпроменева зірка з косим зрізом (DZS). Завдяки косому зрізу трьохпроменева зірка також має велику ефективність зйому. Крім цього при застосуванні трьохпроменевих зірок з косим зрізом знижується вірогідність

застрягання шліфувальних матеріалів у порівнянні зі звичайною трьохпроменевою зіркою.

6. Еліпс (E). Еліпси та еліпси з косим зрізом переважно використовуються для згладжування. Завдяки гарному сковзанню вони бережно обробляють заготовлю та забезпечують однорідну поверхню.

7. Еліпси з косим зрізом (ES). Цей тип абразивного елементу являє собою удосконалений еліпс. Він може проникати у заготовлю зі складним контуром та не залишати необроблених ділянок.

8. Гранулят (G). Для забезпечення зачистки та згладжування або очистки заготовель, у тому рахунку їх внутрішніх частин (труби або довгі глухі отвори) цей матеріал найбільше відповідає. При його використанні практично відсутнє застрягання. Ним можна проводити крапкове шліфування поверхні, при якому спостерігається мінімальний злом металу. Гранулят дає найкращі результати глянцею ванні, поліруванні та матуванні поверхні.

9. Конус (K). Конусоподібна форма одночасно забезпечує одночасний злом матеріалу та захист крайок заготовлі. За рахунок лінійного дотикання поверхонь при шліфуванні отримується тонко текстурована поверхня. При роботі з плоскими заготовлями забезпечується гарна відокремлюємість, в зв'язку з цим не виникає небезпека вигрузити матеріал разом з деталлю.

10. Піраміда (P). Висока абразивна ефективність цього матеріалу обумовлена наявністю ребер, які сходяться в чотирьох вершинах. Практично рівносторонні поверхні гарантують високу стійкість форми на протязі всього строку використання. Цей матеріал практично не застрягає в пазах деталі. Завдяки компактній формі забезпечує ідеальне роз'єднання та утворює умови для автоматичного відсіювання сильно зменшихся часток.

11. Циліндр з двома косими зрізами (QZ). Цей вид наповнювача має підвищену рухомість та гарно перекатується. Його принцип роботи

аналогічний багатьом циліндрам. Але за рахунок загостреної клиновидної форми він може проникати в деталі з малим радіусом, прорізи та щілі.

12. Кути (W). За роботою схожі з роботою трьохпроменевих зірок. При знятті великої кількості матеріалу елементи кутової форми більш ефективні та більш стійкіші до механічних дій.

13. Циліндр (Z). Циліндри використовуються для повного видалення внутрішніх задирок з труб або отворів. Вони рахуються ідеальними абразивними матеріалами при поліруванні, а їх форма забезпечує гарне розділення.

14. Циліндр з косим зрізом (ZS). Цей тип абразивних елементів найшвидше всього і найчастіше за все проходить при обробці через проблемні зони та без супротиву проникає через отвори або прорізи.

Проаналізувавши рисунки 2.3 та 2.4 можна зробити висновок, що найкраща якість обробки досягається при роботі з наповнювачем RP, тому експерименти будемо проводити саме з ним.

Дослідження проводили на натурних зразках (див. рис. 1.23 та рис. 2.2).

Режим обробки:

- обробка виконувалася із застосуванням абразивного наповнювача RP різної конфігурації та характеристик у поєднанні з пастою RSP 508S та безперервною подачею компаунду ZF 113;

- амплітуда (частота) коливань – 50 Гц;

- рух абразивного наповнювача – реверсний;

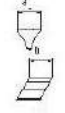
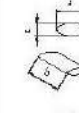
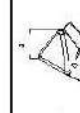
- загальний час віброполірування кожного сектора – 8 год: обробка з пастою протягом 6,5 год плюс обробка з інтенсивним промиванням протягом 1,5 год.

Ordering Example:	Quality RM	Measurement 10/15	Shape S
-------------------	------------	-------------------	---------

Quality	Specific Weight g/cm ³	Grinding Performance	Grinding Effect
RP Keramo-Finish®	2.91		
RF	2.40		
RCP	3.60		
RM	2.49		
RPM	2.50		
RCB	2.50		
RS	2.52		

Shape	D Triangle	F Triangle with big radius	S* Angle Cut Triangle	Z Cylinder	ZS* Angle Cut Cylinder	QZ Quinto
Measurement (mm)	 a/b	 a/b	 a/b	 a/b	 a/b	 a/b
	02/02 03/03 04/04 06/06 07/07 20/20 10/06 10/10 15/15	10/10	03/03 04/04 04/10 05/05 05/10 06/10 08/12 09/09 10/15 12/04	08/03 04/05 1,5/05 1,7/05 01/08 02/05 03/05 03/10 04/10 05/10 06/10 07/15 10/15 12/25	01/03 1,2/03 1,4/05 1,5/05 1,7/05 02/05 03/05 03/10 04/10 04/10 04/13 05/10 06/10 06/13 07/15 08/15 09/15 05/20 10/20	09/08
	03/03 04/04 05/05 06/06 08/08 10/10 13/13 15/15 20/20	06/06	10/06	03/03 04/04 06/08 10/14 12/12	03/05 06/10 08/15 10/10 15/36	
	03/03 04/04 06/06 07/07 08/08 09/09 15/15 20/20 25/25		04/13 05/12 06/06 07/07 08/08 09/09 10/15 12/12 13/13 15/18 20/08	1,7/04 02/05 03/05 04/10 07/15 08/13 10/16 12/15 18/30	1,7/05 02/05 2,5/05 04/05 05/10 06/10 07/13 08/10 09/15 10/08 10/15 12/20 13/15	10/12 14/17
	02/02 03/03 04/04 06/06 08/08 10/10 13/13 15/15 20/20 25/25 30/30 40/40 50/50	06/06 08/08 10/10 13/13 15/15 20/20	03/10 04/10 06/10 08/20 10/15 10/20 13/26 15/15 15/18 16/32 20/20 20/30 25/25 30/25 30/30 35/35	02/05 04/10 05/08 06/10 08/20 09/13 10/15 12/16 12/25 15/40 20/40	1,5/06 02/05 03/05 03/10 04/10 05/10 06/13 07/15 08/15 09/20 10/15 10/20 12/20 12/25 15/30 20/20 25/30	15/15 15/18
	04/04 06/06 10/10 15/15 20/20 25/25	20/20	03/10 04/10 05/10 06/06 08/20 10/15 13/13 15/15 20/20 25/25 30/25 35/35	04/08 10/20 20/40	04/10 05/10 06/13 10/20 12/20 15/30 20/40 25/30	08/08
	04/04 05/05 06/06 08/08 10/10 13/13 15/15 20/20 25/25 30/30 40/40	10/10 15/25	04/10 06/15 07/07 10/10 10/15 13/15 15/15 20/20 25/25 30/30	06/13 10/20 15/40 20/40	03/10 10/20 15/30 20/40	
	02/02 03/03 04/04 05/05 05/10 06/06 06/08 07/07 08/08 10/08 10/10 13/13 15/12 15/15 16/16 18/20 20/12 20/16 20/20 25/25 30/25 30/30 35/10 40/40 50/50	06/06 10/10 13/13 15/15 20/20 30/30	03/05 03/10 04/04 04/10 05/10 06/06 06/10 08/20 09/10 10/15 10/20 13/26 15/15 15/18 16/32 20/20 20/30 22/08 25/25 30/25 30/30 35/35 40/40	01/04 1,4/04 1,7/04 02/05 03/10 04/10 05/10 06/14 07/13 08/20 10/20 12/12 12/16 14/40 15/30 15/40 18/40 20/40	1,5/03 02/05 2,7/05 03/05 03/10 04/10 05/10 06/10 06/13 07/13 07/15 08/20 09/20 10/15 10/20 12/20 12/25 15/20 15/25 15/30 20/40 25/30	10/12 12/12 15/15 15/18 15/25 20/20 25/25

Рисунок 2.6 – Керамічні наповнювачі фірми Ceramic Media, аркуш 1

DZ Tristar	DZS* Angle Cut Tristar	ST Star	E Ellipse	ES* Angle Cut Ellipse	W Elbow	P Pyramid	K Cone	R Rhombus	PA Paraboloid	G Granulate	
											
 a/b	 a/b	 a/b	 a/b/c	 a/b/c	 a/b	 a/b	 a	 a/b/c	 a/b	 Ø	
04/04 05/05 06/06 08/08 10/10 02/02 sk 03/03 sk 04/04 sk 05/05 sk 06/06 sk 08/08 sk 10/10 sk	04/08 06/06 09/10 10/12 10/10 sk		08/09/03 06/06 20/20/08 10/10/05 15/15/04 15/15/06	15/15/04 15/15/06	10/10 sk					2 3 4 5 6 8	
04/04 02/02 sk	04/04			20/20/08						3 4 6	
04/04 05/05 06/06 08/08 10/10	06/06 sk 10/10 sk	04/05	08/09/03 15/15/06 20/20/08	15/15/06 25/30/13							
03/03 04/04 06/06 10/10 15/15 20/20 30/30	06/06 sk 10/10 sk	04/04 06/06 06/10 10/12 15/06 15/18 20/20 25/25 30/12 10/12 sk	20/08 22/12 30/12 35/12 45/16	14/14/05 15/15/04 15/15/06 20/20/08 25/25/10 25/25/13	15/15/04 15/15/06 20/15/08 25/25/10 25/30/10	10/05 10/10 14/14 15/10 15/15 20/20 25/25	15/16 22/25 25/27 30/34 35/39 35/39 40/45 P/R 45/50 P/R 10 P/PQ 15 P/PQ	15 19 20 25 30 30 35 40 45 60	35/18/25 50/30/30	30/17 50/28	1,2 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 14 18
10/10 20/20	10/10 15/15 15/18 20/10	20/12 22/10 30/12 45/16	14/14/05 15/15/04 15/15/06 20/20/08 20/20/10 25/25/10 25/25/15	20/15/08 25/25/13 25/30/10	20/20 15/15 sk	15/16 22/29 25/27 30/34 35/39 40/45 P/R 45/50 P/R 15 P/PQ	19 20 25 30 45				
03/03 04/04 10/10 20/20	10/20 20/10	30/12 45/16	08/10/03 15/15/04 15/15/06 20/20/08			15/16 25/27 30/34 35/39 40/45 P/R	30 40 60				
03/03 04/04 05/05 06/06 07/07 08/08 10/10 15/15 20/20 04/04 sk 06/06 sk 10/10 sk	04/04 05/05 06/06 06/10 10/12 10/15 15/18 20/20 30/12 10/12 sk 15/15 sk	20/08 20/12 22/12 30/12 35/12 45/16	10/10/05 14/14/05 15/15/04 15/15/06 20/20/08 20/20/10 25/25/10 25/25/15	15/15/04 15/15/06 20/15/08 25/25/10 25/25/13 30/30/12	10/05 10/10 15/10 15/15 20/20 14/14 sk	15/16 17/20 22/25 25/27 30/34 35/39 40/45 P/R 45/50 P/R 10 P/PQ 15 P/PQ	15 19 20 25 30 35 40 60	35/18/25 50/30/30 50/40/40 50/40/30	30/17 50/28	2 3 4 5 6 7 8 11	

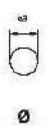
Продовження рисунка 2.6 – Керамічні наповнювачі фірми Ceramtec Media, аркуш 2

Ordering Example:	Quality RM	Measure-ment 10/15	Shape S
-------------------	------------	--------------------	---------

Quality	Specific Weight g/cm ³	Grinding Performance	Grinding Effect
RSS	2.52		
RSF	2.39		
RSG	2.51		
RXF	2.63		
RX	2.60		
RMB/D1	2.55		
RXX	2.67		

Shape	D Triangle	F Triangle with sigradius	S* Angle Cut Triangle	Z Cylinder	ZS* Angle Cut Cylinder	QZ Quinto
Measure ment (mm)						
	a/b	a/b	a/b	a/b	a/b	a/b
	04/04 20/20 06/06 25/25 10/10 40/40 13/13 50/50 15/15	04/04 06/06 13/13 15/15 20/20 22/22	02/20 20/30 04/10 25/25 06/13 30/23 10/15 30/25 13/26 30/30 15/18 35/35 20/20	07/13 20/40 10/20 25/40 12/25 15/40 18/40	05/10 12/20 06/10 15/25 07/14 15/40 08/20 20/40 09/20 25/25 10/20	
	02/02 15/10 03/03 15/15 04/04 20/12 05/05 20/20 06/06 25/25 07/07 30/20 08/08 30/30 10/06 40/40 10/10 50/50		04/10 20/30 06/10 25/25 10/06 10/15 13/26 15/10 15/18	07/08	02/05 10/15 03/05 10/20 04/05 12/20 04/10 15/25 06/13 20/20 07/15 25/30 09/15	12/12
	02/02 15/15 03/03 20/20 04/04 25/25 05/06 30/30 08/08 35/35 10/10 40/40 13/13	06/06 10/10 13/13 15/15	04/10 20/20 06/10 20/30 08/20 22/08 10/15 22/24 10/20 25/25 13/26 30/25 15/15 30/30 15/18 35/35	03/05 15/30 06/10 18/40 06/14 20/40 07/15 10/16 12/16	1,5/04 08/15 02/05 10/20 03/05 12/20 03/10 12/25 04/05 15/25 04/10 15/30 05/10 20/40 06/13 25/30 07/15	10/12 15/18 20/20 25/25
	04/04 13/13 06/06 15/15 07/07 20/20 08/08 25/25 10/10 30/30	10/10 13/13 20/20 25/25	04/04 15/18 06/10 25/30 08/20 30/23 10/15 30/30 13/13 35/35 15/15		1,2/03 06/13 1,7/03 07/15 02/05 10/20 03/05 12/20 04/10 15/25 05/10	10/12
	03/03 13/13 04/04 15/15 05/05 20/20 06/06 25/15 07/07 25/25 08/08 30/30 10/10	08/08 10/10 15/15	06/10 15/18 08/20 20/20 10/10 22/08 10/15 22/24 12/10 25/25 13/13 30/25 15/15	07/13 10/15	1,7/03 08/15 03/05 12/20 04/05 15/30 06/10 20/40 07/15	10/12 15/15 15/18
	04/04 20/20 06/06 25/15 08/08 25/25 10/10 30/30 13/13 40/40 15/15	08/06 13/13 15/15	04/08 15/18 06/13 20/20 10/15 25/25 13/13 30/23 15/15 30/30	02/06 07/13 08/20 10/20 20/40	02/05 08/15 03/05 10/20 04/10 12/25 05/10 15/25 06/13 20/20 07/15	12/12 15/15 15/18 20/20
	04/04 20/20 06/06 25/15 08/08 25/25 10/10 30/30 13/13	10/10 15/15 25/25	04/04 15/18 06/10 20/20 08/08 22/08 09/09 22/24 10/10 25/25 10/15 30/30 12/20 35/35 13/13 40/40 15/15	03/10 04/10 06/10 07/13 15/30 20/40	03/05 09/15 04/05 10/20 05/10 12/20 06/10 15/25 07/15 08/15	10/12 15/15 20/20

Рисунок 2.7 – Керамічні наповнювачі фірми Ceramic Media, аркуш 1

DZ Tristar	DZS* Angle Cut Tristar	ST Star	E Ellipse	ES* Angle Cut Ellipse	W Elbow	P Pyramid	K Cone	R Rhombus	PA Paraboloid	G Granulate
										
										
	10/12 15/18	20/12 20/08 22/12 30/12 35/12 45/16	10/12/05 15/15/05 20/20/08 25/25/10 25/25/13	15/15/06 20/20/08 25/25/10 25/30/10 30/30/12	10/10 15/10 15/15 20/12			50/30/30 50/40/30 50/40/40		
06/06 10/10 06/06 sk 10/10 sk	10/12 15/18	20/08 20/12 22/12	10/12/05 15/15/04 15/15/06 20/20/08		15/15			50/30/30		
04/04 05/05 06/06 10/10 04/04 sk 06/06 sk 10/10 sk	04/10 06/06 06/10 10/12 15/15 15/18 20/20 20/30 25/25 30/10	20/08 22/12 30/12 35/12 45/16	10/12/05 14/14/05 15/15/04 15/15/06 20/20/08	15/15/06 25/25/10 25/25/13	10/10 15/15 20/20	15/16 22/25 25/27 30/34 35/39 40/45 P/R 45/50 P/R 15 P/PQ	15 19 20 30 35 40 60	50/30/30	30/17 50/28	2 3 4 5 6 8 11 18
06/06	04/04 04/10 06/06 10/12 15/18 15/10 sk	30/12 45/16	08/10/03 14/14/05 15/15/06	20/20/08	14/14 sk	35/39				5,5 8
06/06 10/10	10/12 15/18		14/14/05 15/15/06 20/20/08	25/50/13		10 P/PQ 15 P/PQ				
03/03 04/04 06/06 08/08 10/10	04/04 06/06 10/10 10/12 13/20 15/18 20/20 25/10 30/12	20/08 30/12 35/12	15/15/04 15/15/06 20/20/08 25/25/10	15/15/06 20/20/08	20/20	15/16 25/27 10 P/PQ 15 P/PQ		50/30/30		8
10/10	10/12 15/18 15/06 20/20 30/10	45/16	14/14/05 20/20/08	25/25/13	10/10 15/10 15/15 20/20			50/40/40		

Продовження рисунка 2.7 – Керамічні наповнювачі фірми Ceramic Media,, аркуш 2

2.4 Методика визначення шорсткості

Шорсткість поверхні оброблених деталей вимірювали за допомогою портативного профілометра-профілографа Surftest SJ-400 (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Профілометр-профілограф Surftest SJ-400

Даний профілометр-профілограф призначається для вимірювання шорсткості поверхонь. Має сенсорну панель керування, вбудований термопринтер та великий РК-дісплей. Особливістю його є те, що він завдяки безопорному способу вимірювання добре підходить для вимірювання глибоких канавок та радіусних виробів.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Дослідження наповнювачів

Виходячі з розмірів лопаток були обрані розміри гранул наповнювача (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання параметрів шорсткості проточних поверхонь секторів (усереднені значення) в залежності від наповнювача

Назва	Фракція, мм	Шорсткість поверхні Ra , мкм
D	04/04	0,8
F	10/10	3,1
S	05/05	1,7
Z	03/05	0,6
ZS	04/05	0,5
QZ	08/08	2,6
DZ	04/04	0,7
DZS	04/08	1,02
E	08/09/03	2,5
ES	15/15/04	3,6
W	10/10	3,2
G	2	2,3

За результатами експериментів побудовано гістограму залежності шорсткості поверхні від виду наповнювача (рисунку 3.1).

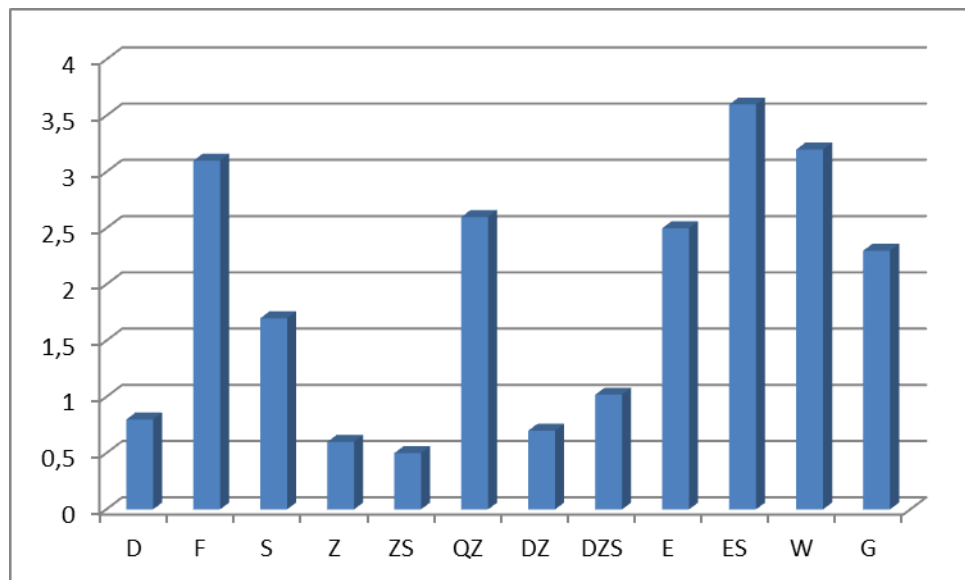


Рисунок 3.1 – Гістограма залежності шорсткості поверхні від виду наповнювача

За результатами випробувань було встановлено, що найкраще при обробці деталей себе зарекомендував наповнювач наповнювача RP 04/05 ZS. При його використанні на віброустановці фірми RÖSLER поверхня обробленої деталі має дзеркальний вигляд (рис. 3.8). Шорсткість поверхні $Ra=0,5$ мкм.

3.2 Дослідження якості поверхні

Результати вимірювань параметрів шорсткості проточних поверхонь представлені в таблиці 3.2. Контроль вимірювань параметрів шорсткості поверхні після обробки виконувався на тих же ділянках сектора, що перед обробкою.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання параметрів шорсткості проточних поверхонь секторів (усереднені значення).

Номер досліджуємого сектора	Лопатка 1, «спинка» зі сторони вихідної кромки		Лопатка 2, «спинка» зі сторони вихідної кромки		Бандажні полиці	
	До обробки	Після обробки	До обробки	Після обробки	До обробки	Після обробки
1	$Ra\ 7,8$	$Ra\ 0,4$	$Ra\ 7,6$	$Ra\ 0,4$	$Ra\ 6,7$	$Ra\ 0,5$
2	$Ra\ 7,4$	$Ra\ 0,5$	$Ra\ 8,3$	$Ra\ 0,4$	$Ra\ 7,6$	$Ra\ 0,3$

З результатів замірів шорсткості до обробки та після обробки видно, що шорсткість поверхні покращується майже в 7 разів.

Зовнішній вигляд ділянок проточних поверхонь секторів до та після виконання віброполірування представлені на рисунках 3.2-3.12.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд лопаток сектора №1 з боку спинки до віброполірування.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд лопаток сектора №1 з боку спинки після віброполірування.

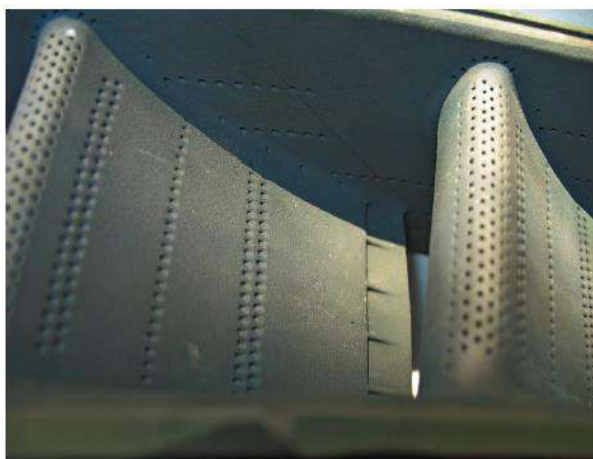


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд лопаток сектора №1 з боку корита до віброполірування.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд лопаток сектора №1 з боку "корита" після віброполірування.



Рисунок 3.6 – Лопатка №2 сектора №1 зі сторони «корита» до обробки.



Рисунок 3.7 – Лопатка №2 сектора №1 зі сторони «корита» після обробки.

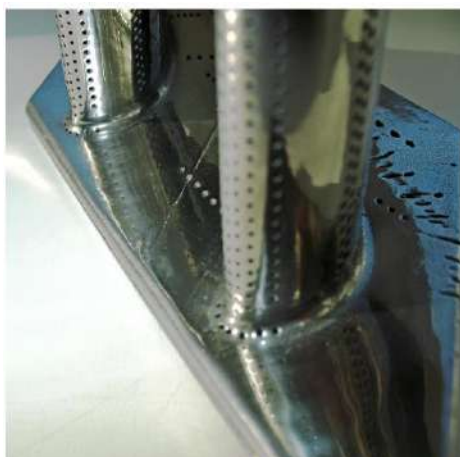


Рисунок 3.8 – Внутрішня бандажна полиця сектора №1 після обробки.



Рисунок 3.9 – Лопатка №1 сектора №2 зі сторони «спинки» до обробки.

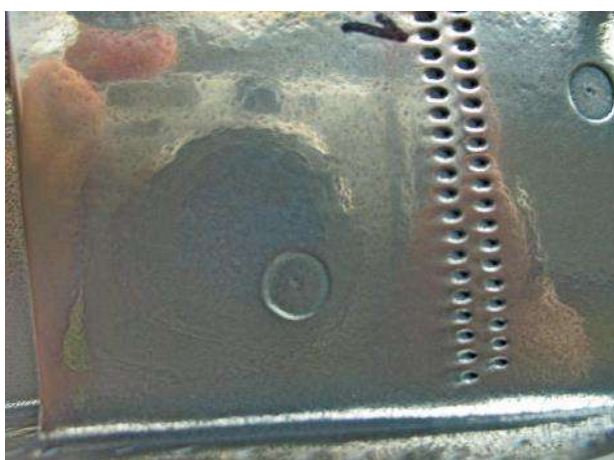


Рисунок 3.10 – Лопатка №1 сектора №2 зі сторони «спинки» після обробки.



Рисунок 3.11 – Проточна поверхня сектора №2 по внутрішній бандажній полиці до віброполірування.

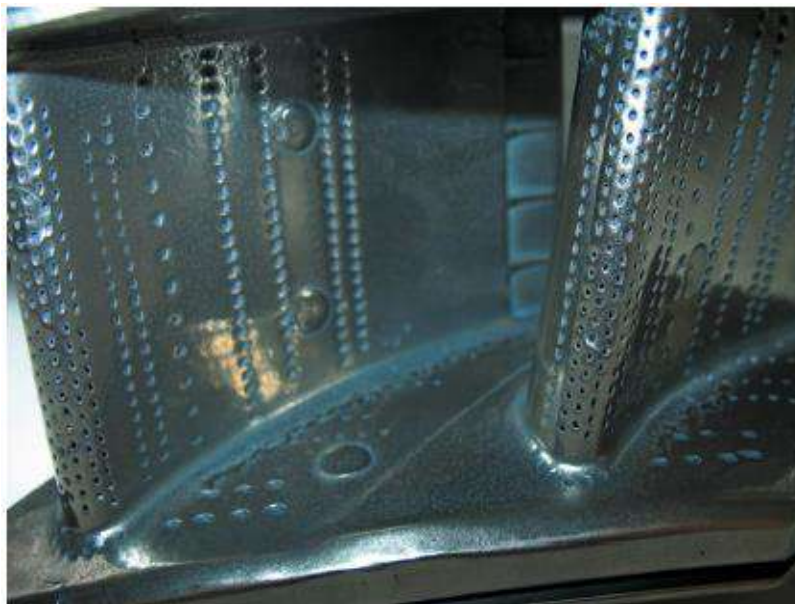


Рисунок 3.12 – Проточна поверхня сектора №2 по внутрішній бандажній полиці після віброполірування.

З представлених на рисунках зразків видно, що обробка деталей на круговій установці фірми RÖSLER R180DL з застосуванням наповнювача RP 04/05 ZS дає значне покращення якості поверхні по всій площині деталі. Поверхня після обробки має майже дзеркальний вигляд.

Аналогічні експерименти були проведені на лопатках компресору високого тиску авіаційного газотурбінного двигуна (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд лопаток компресора

На рисунку зверху показана лопатка, яка полірувалась на установці. Нижня лопатка була оброблена вручну за допомогою механічних операцій. Як видно з зовнішнього вигляду обробка лопаток на установці дає майже дзеркальну поверхню в порівнянні з лопаткою обробленою вручну. Ручне полірування комплекту лопаток з 200 шт займає 2,5 місяці, а обробка в установці тієї ж кількості 8 годин. Також після ручного полірування на поверхні лопаток залишаються риси від обробки, що в наступному потребує додаткової доводки поверхонь.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

Проведемо розрахунки ефективності використання галтувальної лоткової віброустановки RÖSLER R180DL, яка дозволяє продовжити термін використання лопаток, зменшуючи їх шорсткість.

Галтувальна кругова віброустановка RÖSLER R180DL використовується для чищення, полірування, видалення окалини, видалення іржи, полірування до блиску, вирівнювання поверхні, грубої та тонкої шліфовки, зміцнення поверхні (полірування кульками).

Принцип дії: деталі та абразивні тіла змішуються та рухаються у вібруючий робочій ємності від середини назовні. Можлива також обробка деталей об деталь, а також застосування обдуву, що висушує.

Процес полірування за рахунок використання установки RÖSLER R180DL автоматизується, що значно скорочує витрати на заробітну плату, крім того підвищується якість продукції.

Річна програма включає обробку 1000 лопаток з використанням галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL, в той час як раніше використовувались абразивні круги – полірувальні круги з електрокорундом білим 25А на вулканітовій зв'язці.

Розрахуємо витрати на інструменти до впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL та після її використання в таблиці 4.1.

Вартість інструменту на рік (B_p), тобто для виконання річної програми, розрахуємо за допомогою формули (4.1) [35, с. 23]:

$$B_p = B_o \cdot K_p \quad (4.1)$$

де B_o – вартість одного інструменту, грн.;

K_p – річна кількість інструментів, потрібних для обробки деталей, од.

Таблиця 4.1 – Аналіз витрат на інструмент до впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL та після її використання

Показник	До використання галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL	З використанням галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL
1	2	3
Інструмент	абразивні круги – полірувальні круги з електрокорундом білим 25А на вулканітовій зв'язці	галтувальна кругова віброустановка RÖSLER R180DL
Кількість інструменту на рік	130	1
Вартість інструменту, тис. грн.	0,18	120
Витрати на інструмент на рік, тис.грн.	23,4	120

Представлені розрахунки свідчать, що використання галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL потребує більших фінансових витрат, аніж використання полірувальних кругів з електрокорундом білим 25А на вулканітовій зв'язці. Різниця складає 96,6 тис.грн.

Розрахуємо витрати на електроенергію до впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL та після її використання в таблиці 4.2.

Витрати на електроенергію (Е) розрахуємо за допомогою формули (4.2) [35, с. 138]:

$$E = \Sigma P \cdot ECT \quad (4.2)$$

де ECT – вартість 1 кВт електроенергії для підприємства, грн/кВт;

ΣP – сумарні витрати електроенергії обладнання, що застосовується, кВт.

Таблиця 4.2 – Аналіз витрат на електроенергію до впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL та після її використання

Показник	До використання галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL	З використанням галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL
Потужність обладнання, кВт/год	1,5	3
Кількість використаних кВт за зміну (8 год.)	12	24
Кількість робочих днів на рік	249	259
Кількість використаних кВт за рік	2988	6216
Вартість кВт, грн.	5,6	5,6
Вартість використаних кВт за рік, тис.грн.	16,73	34,81

Представлені дані свідчать, що витрати на електроенергію при використанні галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL складуть 34,81 тис.грн., що на 18,08 тис.грн. більше, аніж до використання даної установки.

Розрахуємо витрати на оплату праці та соціальні відрахування до впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL та після її використання в таблиці 4.3.

Витрати на оплату праці (ВП) розрахуємо за допомогою формули (4.3) [36, с. 50]:

$$ВП = Co \cdot K_{пр} \quad (4.3)$$

де Co – середньомісячний оклад, грн.;

$K_{пр}$ – кількість працівників, задіяні у виробничий процес.

Витрати на відрахування до єдиного соціального внеску ($В_{єсв}$) розрахуємо за допомогою формули (4.4) [35, с. 50]:

$$В_{єсв} = ВПр \cdot 22\% \quad (4.4)$$

де $ВПр$ – річні витрати на оплату праці, тис.грн.

Таблиця 4.3 – Аналіз витрат на оплату праці та соціальні відрахування до впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL та після її використання

Показник	До використання галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL	З використанням галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL
1	2	3
Кількість працівників	5	1
Середньомісячний оклад 1 працівника, грн.	14000	15000

Продовження таблиці 4.3

1	2	3
Річний фонд заробітної плати всіх працівників, тис.грн.	840	180
Відрахування на обов'язкове соціальне страхування за рік (ЄСВ 22%), тис.грн.	184,8	39,6
Разом річний фонд оплати праці та річні соціальні відрахування, тис.грн.	1024,8	219,6

Представлені дані свідчать, що разом річний фонд оплати праці та річні соціальні відрахування до використання галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL складала 1024,8 тис.грн., а при використанні – 219,61 тис.грн., тобто на 805,2 тис.грн. менше.

За рахунок використання галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL вдасться скоротити кількість задіяного персоналу з 5 осіб до 1, це дозволить значно скоротити витрати на оплату праці та соціальні відрахування.

Згрупуємо всі витрати для визначення економічного ефекту від впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Визначення економічного ефекту від впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL

Показник	До використання галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL	З використанням галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL
Річна програма, кількість лопаток	1000	1000
Витрати на інструмент на рік, тис.грн.	23,4	120
Вартість використаних кВт за рік, тис.грн.	16,73	34,81
Разом річний фонд оплати праці та річні соціальні відрахування, тис.грн.	1024,8	219,6
Амортизаційні відрахування (20% від фонду оплати праці)	168	36
Разом витрати, тис.грн.	1232,93	410,41
Витрати на 1 лопатку, грн.	1232,93	410,41

Представлені в таблиці 4.4 дані свідчать, що впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL є доцільним, адже дозволить значно скоротити витрати, а саме:

$$1232,93 - 410,41 = 822,52 \text{ грн.}$$

Тобто на 822,52 грн. на рік скоротяться витрати в розрахунку на 1

лопатку, крім того, значно підвищиться якість обробки.

Розрахуємо умовно річний економічний ефект за формулою 4.5 [37, с. 6]:

$$E_{ур} = (C_1 - C_2) * N \quad (4.5)$$
$$(1232,93 - 410,41) * 1000 = 822,52 \text{ тис.грн.}$$

Отже річний економічний ефект складе 822,52 тис.грн., адже саме на цю суму скоротяться витрати.

Таким чином, реалізація проекту з впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL є доцільним, економічно вигідним і ефективним управлінським рішенням.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

Проаналізувавши роботу установки RÖSLER R180DL відзначимо, що основними факторами, які можуть потенційно впливати на здоров'я осіб, що працюють на даному обладнанні це: шум та вібрація.

Робота в цехах супроводжується значними рівнями шуму та вібрації, які негативно впливають на здоров'я працюючих.

Шумова хвороба є загальним захворюванням всього організму з переважаючим пониженням слухового апарату і нервової системи. Тривала дія шуму на організм людини призводить до розвитку хронічної перевтоми, зниження працездатності, виникнення таких симптомів як поганий сон, сонливість, зниження слуху та порушення терморегуляції.

Зниження слуху найчастіше виникає в умовах професійної діяльності та полягає в тому, що внаслідок звукового подразнення виникають біохімічні та гістологічні зміни у всіх відділах слухової системи. В основі цих змін, лежить виснаження обмінних процесів, а також судинні зміни. Всі інші зміни в організмі настають внаслідок тісних зв'язків слухової системи з численними нервовими центрами на різних рівнях і характеризують неспецифічну дію шуму.

Дія шуму часто викликає гіпертонічну хворобу. Змінюється частота пульсу, яка проявляється в основному у вигляді аритмії та брадикардії. Знижується також загальна опірність організму.

Шум негативно впливає на органи травлення- виникають скарги на зниження апетиту, нудоту, почуття перенасичення тощо.

Негативним є тривала дія шуму на жовчний міхур і жовчевивідні протоки, що порушує діяльність жовчевивідного апарату та викликає порушення відтоку жовчі з печінки і жовчного міхура у дванадцятипалу кишку.

Розробляючи систему шумозахисних заходів, беруть до уваги як колективні, так і індивідуальні засоби захисту. Перші передбачають зниження шуму в джерелі його виникнення, а також на шляху його поширення від джерела до об'єкту, який підлягає захисту. Індивідуальними засобами захисту від виробничого шуму є навушники, шоломи, вкладиші.

Для зниження шуму рекомендують різні способи. Серед них найбільш раціональний і ефективний- зниження рівня звукової потужності джерела шуму, яке можна здійснити зміною чи вибором обладнання з поліпшеними шумовими характеристиками.

Наступний спосіб, який широко використовують на виробництві, пов'язаний зі зменшенням звукової потужності на шляху поширення звуку. Для цього використовують звукоізолюючі огороження, кабінки, кожухи та акустичні екрани. Для зменшення інтенсивності відбитих звукових хвиль з метою зменшення шуму проводять акустичну обробку приміщень. Для цього стелю, стіни та перекриття на механічній ділянці покривають звукопоглинальними матеріалами. [38]

При роботі установки RÖSLER R180DL використовується вентилятор для забезпечення роботи двигуна місцевої вентиляції. Рівень шуму вентилятора $L_1 = 80$ дБ; також для забезпечення роботи вентиляції використовується компресор з рівнем шуму $L_2 = 74$ дБ; також на даній ділянці працює установка RÖSLER R180DL для віброполірування деталей з рівнем шуму $L_3 = 85$ дБ.

Визначимо, який шум може виникати на даній ділянці.

Знаходимо значення: $L_1 - L_2 = 80 - 74 = 6$ дБ та поправку $\Delta L_1 = 6,1$ дБ, звідси $L_2 = 80 + 6,1 = 86,1$ дБ.

Тепер визначаємо різницю: $L_2 - L_3 = 86,1 - 85 = 1,1$ дБ та поправку $\Delta L_2 = 0,5$ дБ. Сумарний рівень шуму на ділянці $L = 86,1 + 0,5 = 86,6$ дБ.

Враховуючи загальні рекомендації ДСН 3.3.6.037-99 « Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» рівень шуму в цеху не

повинен перевищувати 80 дБ, тому для створення комфортних умов праці передбачені заходи по зменшенню загального шуму.

Цикл обробки деталі на установці RÖSLER R180DL вісім годин, якби робітник знаходився постійно в таких умовах, то це викликало б роздратування, підвищену втому. У зв'язку з цим передбачений метод забезпечення безпеки як «захист відстані», а зокрема робоче місце робітника знаходиться на відстані від установки. Процес контролю здійснюється один раз на 30 хвилин. Таким чином, рівень шуму на робітника не діє постійно і не перевищує нормативів.

Якщо шум передусім ушкоджує слух людини, то вібрація шкіру, вестибулярний апарат тощо.

Вібрацію поділяють на загальну (діє на весь організм) і місцеву (діє лише на окремі його частини: верхні кінцівки, плечовий пояс, судини серця). Часто ці види вібрацій збігаються. У комбінації з шумами вібрація суттєво впливає на функціональний стан центральної нервової системи і на слуховий апарат. Місцева або локальна вібрації викликає зміни регуляції тону су периферичних кровоносних судин, що викликає спазми кінцівок. Порушується вазомоторна координація, розвивається вегетативний поліневрит. Загальна вібрація спричиняє порушення нормальних корково-підкоркових зв'язків у центральній нервовій системі, зміни у функціональному стані периферичних судин, порушення білкової та температурної чутливості, зміни в суглобах, які призводять до обмеження їх рухомості. Якщо частоти коливань робочих місць збігаються з власними частотами коливань внутрішніх органів людини, то можливі механічні пошкодження цих органів аж до їх розриву.

Тривалий вплив вібрації призводить до професійного захворювання-вібраційної хвороби, яка піддається лікуванню лише на перших стадіях її розвитку. [39]

Заходи щодо захисту від вібрації поділяють на технічні, організаційні та лікувально- профілактичні.

Якщо не вдається усунути вібрації в джерелі виникнення, то використовують методи зниження параметрів вібрацій на шляху її поширення від джерела. Часто використовують віброізоляцію на пружних опорах, а також застосовують прокладки з гуми, пробки тощо.

Серед індивідуальних засобів захисту від вібрації є спеціальні рукавиці та прокладки. Для захисту ніг використовують віброзахисне взуття, що має прокладки з пружно демпфірувальних матеріалів (пластмаси, гуми або войлоку). З метою профілактики вібраційної хвороби персоналу, що має справу з вібруючим обладнанням, слід суворо дотримуватися режиму праці й відпочинку, чергуючи при цьому робочі операції, пов'язані з впливом вібрації і без неї.

Отже, організаційні заходи- це вчасний ремонт та обслуговування обладнання, чергування праці та відпочинку; технічні заходи полягають у зниженні вібрації в джерелі її виникнення; лікувально- профілактичні заходи включають медичний огляд та лікувальні процедури. [40]

Таким чином, в роботі було виконано розрахунок рівня шуму, що може супроводжувати роботу установки RÖSLER R180DL та акцентовано увагу на суттєвому перевищенні нормативу. Передбачені заходи по поліпшенню умов праці.

ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Для досягнення заданого параметра шорсткості $Ra_{0,5}$ металевого підшару по всіх проточних поверхнях сектора на використаній установці RÖSLER R180DL за режимом, зазначеним у розділі 2, достатньо обробки протягом 8 год. Обсяг робочої зони установки дозволяє одночасно (за одне завантаження, без переустановки) обробляти до 18 секторів та до 200 лопаток. Зменшення шорсткості поверхні підвищить експлуатаційні властивості деталі.

2. Для покращення умов напилення покриттів, підвищення якості обробки та скорочення часу віброполірування рекомендується виконувати попередню підготовку проточних поверхонь секторів перед напилюванням покриттів – видалення рисок, ізотропію мікронерівностей (характерну для обробки абразивним інструментом) тощо.

3. Впровадження даної установки дозволить:

1) на робочих лопатках ТВТ – виключити утворення поверхневих дефектів у вигляді «задирів металевго підшару» при віброполіруванні, які призводять до утворення наскрізної пористості та зниження теплозахисних характеристик електроннопроменевого керамічного покриття. Дозволить значно спростити підготовку під нанесення ТЗП, відмовившись від трудомісткої операції АГД очищення за рахунок підвищення якості поверхні металевго підшару після віброполірування;

2) при полопаточному нанесенні покриття СДП-1 на сектор – забезпечить необхідну шорсткість по всій поверхні, що покривається без утворення локальних дефектів, гарантуючи якісну поверхню для ТЗП, що наноситься електроннопроменевим способом;

3) очікується, що при віброполіруванні нових дволопаткових секторів з покриттям, обладнання RÖSLER забезпечить відсутність шагрені (локальних лунок) на поверхні металевго шару, виявленої при проведенні

справжньої роботи, що дозволить застосувати дане покриття для нанесення електроннопроменевим способом.

4) підвищить продуктивність віброполірування за рахунок збільшення обсягу партії деталей, що завантажуються.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. Розглянуті методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей за рахунок покращення шорсткості поверхні, яка в свою чергу впливає на коефіцієнт корисної дії (ККД) деталі (сектора лопаток ТВТ). Покращення шорсткості поверхні призводить до підвищення ККД авіаційного двигуна в цілому за рахунок тертя.

2. Проаналізувавши наявні на даний момент доступні методи фінішної обробки тонкостінних і складнопрофільних виробів, з усіх вищеописаних найбільш доцільним для обробки сектору соплових лопаток являється застосування віброполірування. Даний метод дозволяє обробляти тонкостінні вироби складного профілю, виконані з важкооброблюваних матеріалів з досягненням високої якості обробленої поверхні, яка на пряму впливає на експлуатаційні властивості деталі. При цьому зменшується час обробки та виключається вплив людського фактору. Обробка проходить в автоматичному режимі.

3. Проведено експериментальні дослідження наповнювачів різної конфігурації та характеристик. Встановлено найкращий наповнювач при якому досягається необхідна якість обробки.

4. Проведено експериментальні дослідження якості обробки сектору соплових лопаток та лопаток КВТ за результатами яких надані технологічні рекомендації. Результати цих рекомендацій можна застосовувати і при обробці інших авіаційних деталей схожої конфігурації та типорозмірів.

5. Економічно обґрунтовано впровадження галтувальної кругової віброустановки RÖSLER R180DL в технологічний процес виготовлення авіаційних деталей типу лопаток. За рахунок використання галтувальної

кругової віброустановки RÖSLER R180DL вдасться скоротити кількість задіяного персоналу з 5 осіб до 1, це дозволить значно скоротити витрати на оплату праці та соціальні відрахування. Встановлено, що витрати в розрахунку на 1 лопатку скоротяться на 822,52 грн. на рік, крім того, значно підвищиться якість обробки.

6. В розділі охорони праці виконано розрахунок рівня шуму, що може супроводжувати роботу установки RÖSLER R180DL та акцентовано увагу на суттєвому перевищенні нормативу. Передбачені заходи по поліпшенню умов праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Електронний ресурс. Режим доступу:
https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/ЕНК_Основи%20взаємозамінності_2017/other/ov_t7_l20.pdf
2. Машиностроение. Энциклопедия: в 40 т. / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2000. Раздел III: Технология производства машин. Т. III-3: Технология изготовления деталей машин, 2002. 839 с.
3. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А. Отделочно-зачистная обработка деталей. М.: Машиностроение, 1979. 216 с.
4. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машиностроение, 1988. 240 с.
5. Dr. Mark Krieg. Chemical, thermal or mechanical processes. International Surface Technology. 2008. №1. P. 52-54.
6. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Мозговой В.Д. Финишные технологии обработки деталей ГТД. Вестник двигателестроения. 2009. №1. С. 71-78.
7. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
8. Сулима А.М., А.М. Евстигнеев. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1974. 256 с.
9. Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://abrazivka.com.ua/abrazivniy-instrument-dlya-poliruvannya>
10. Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://tematools.com.ua/ua/p939199538-vojlochnyj-krug-dlya.html>

11. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://rsgroup.com.ua/ua/p87412530-krug-vojlochnyj-polirovalnyj.html>
12. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://newworldrealty.ru/>
13. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.e-polirovka.ru/index.html>
14. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.lpi.su/>
15. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://techno.x51.ru/index.php?mod=text&txnode=289&uitxt=523>
16. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://newblesk.narod.ru/>
17. Вerezub V.N. Шлифование абразивными лентами. М., “Машиностроение”, 1972.
18. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 172 с.
19. Барон Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1975.- 128 с.
20. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://science.kpi.ua/konk-pidr-2023/kompleks-monografij-aparatne-zabezpechennya-ultrazvukovyh-kavitatsijnyh-tehnologij-ultrazvukovi-tehnologichni-protsesy-rozpylennya-ta-ekstraguvannya-ta-ultrazvukovi-kavitatsijni-tehnologiyi-ochyshhen/>
21. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. Изд. 2-е перераб. и доп. М. “Машиностроение”, 1974.
22. Карташов И.Н. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах. Издательское объединение “Вища школа”, 1975, 188 с.
23. Богуслаев В.А. Технология производства авиационных двигателей: монография/ Богуслаев В.А., Качан А.Я., Мозговой В.Ф., Корневский Е.Я. – Запорожье: ОАО “Мотор Сич”. 2000. 945 с.
25. Серебrenицкий П.П. Обработка деталей механическими щетками. Л.: Лениздат, 1967. 132 с.
26. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.osborn.ru/>

27. Гончар Н.В. Автоматизация операции снятия острых кромок радиусом скругления оптимальной величины в пазах типа “ласточкин хвост” дисков компрессора авиационного газотурбинного двигателя

28. С.И. Дядя, Н.В. Гончар, Д.Н. Степанов, В.И. Черный, О.В. Алексеенко “Обоснование выбора полимерно-абразивного инструмента для выполнения отделочных операций”

29. Беловецкий А.В. Ультразвуковое упрочнение металлов / А.В. Беловецкий, В.Н. Винниченко, И.М. Муха. – К.: Техника, 1989. – 168с.

30. Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=3269

31. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://aloro.org/grades/su/gr-hn73mbtyu-vd>

32. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/teplovaya-zaschita-lopatok-turbin-2.html>

33. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://tweko.com.ua/drobestrujna-ustanovka-priznachennja-princip-roboti/>.

34. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.rosler.com/en/products/consumables/ceramic-media>

35. Методичні рекомендації для дипломного проектування « Оцінка економічної ефективності технічних рішень» для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми « Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 41 с.

36. Економіка і організація виробництва: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за технічними та інженерними спеціальностями / Петренко К. В., Скоробогатова Н. Є. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 177 с.

37. Ахновська І., Болгов В. Управління витратами: навчальний посібник / І. О. Ахновська, В. Є. Болгов. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2020. 156 с.

38. Охорона праці: Навч. посібник / За ред. В.Кучерявого.- Львів: Оріяна- Нова, 2007.- 368 с.

39. Пістун І.П., Стець Р.Є., Трунова І.О. Охорона праці в галузі машинобудування: Навч. посіб.- Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.

40. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Технологія машинобудування»; 133 «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою (спеціалізація) «Металорізальні верстати та системи»; 134 «Авіаційна та ракетно- космічна техніка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок» / Укл. : В.І. Шмирко- Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 32 с.