

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему «Особливості фінішної обробки дрібногабаритних деталей машин»

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи M-111м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування

Стішова М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Гончар Н.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Матюхін А.Ю.
(прізвище та ініціали)

2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технологія машинобудування
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТМБ**

доцент Дядя С.І.

« » грудня 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТКИ

Стішова Марина Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Особливості фінішної обробки дрібногабаритних деталей машин»

Керівник проєкту Гончар Наталя Вікторівна, к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» 11 2022 року № 374

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Технологічний процес виготовлення лопатки 2-го ступеню КВТ

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Особливості підходу до слюсарної обробки дрібних деталей машин. 2 Методика та умови досліджень. 3 Експериментальне дослідження щодо формування якості і властивостей поверхонь деталей. 4 Практичне застосування результатів експериментального дослідження. 5. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції фінішної обробки. 6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

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

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	Гончар Н.В. к.т.н., доцент		
5	Пухальська Г.В., доцент		
6	Шмирко В.І., доцент		
Нормоконт.	Дядя С.І., доцент		

7. Дата видачі завдання « 5 » вересня 2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вступ	12.09	
2	Особливості підходу до слюсарної обробки дрібних деталей машин	26.09	
3	Віброабразивна обробка. Віброабразивне обладнання	03.10	
4	Обладнання некругового руху. Обладнання кругового руху	17.10	
5	Механічні щітки. Металеві щітки.ПАЩ	24.10	
6	Методика та умови досліджень. Експериментальні деталі	07.11	
7	Методика віброабразивної обробки. Методика обробки полімерно-абразивними щітками	14.11	
8	Результати віброполірування лопаток зі сплаву ХН45МВТЮБР-ИД. Обробка полімерно-абразивними щітками обертальної дії	21.11	
9	Практичне застосування результатів експериментального дослідження	28.11	
10	Економічне обґрунтування вибору варіанта операції фінішної обробки	01.12	
11	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	05.12	
12	Захист	15.12	

Студент(ка)

(підпис)

Стішова М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Гончар Н.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 27 рис., 7 табл., 22 джерела.

ВІБРОАБРАЗИВНА ОБРОБКА, НАПОВНЮВАЧ, ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНІ ЩІТКОВІ ІНСТРУМЕНТИ, РЕЖИМИ, ЯКІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ, ТОЧНІСТЬ, МАСШТАБИ ВИРОБНИЦТВА

Об'єкт дослідження – фінішні методи обробки дрібних деталей машин.

Мета роботи – забезпечення якості поверхонь деталей машин технологічними методами на фінішному етапі, на прикладі пера лопаток, в залежності від масштабу виробництва.

Задачі: пошук фінішних методів, здатних при виготовленні усунути мікродефекти поверхні та видалення залишків «строчок» та задирок; відпрацювання режимів вибраних методів; оцінка отриманих результатів у порівнянні з заданими кресленням вимогами параметра шорсткості поверхонь і збереження геометричних розмірів деталей; розробка технологічних рекомендацій застосування обраних методів, в залежності від масштабів виробництва.

Запропоновано методи фінішної обробки для удосконалення оздоблювально-слюсарних операцій виготовлення лопаток компресора ГТД в умовах різних типів виробництва – серійного і одиничного – відповідно, віброабразивна обробка та полірування полімерно-абразивними щітковими інструментами обертової дії.

Методи дослідження: методи інженерної механіки – для досліджень результатів процесу фінішної обробки.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що запропоновані фінішні операції та визначені режими можна використовувати для проектування ТП виготовлення дрібногабаритних деталей ГТД та інших виробів загального машинобудування, в залежності від річної програми випуску.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	5
Вступ.....	6
1. Особливості підходу до слюсарної обробки дрібних деталей машин	7
1.1 Вплив масштабів виробництва на вибір слюсарних методів на прикладі лопаток ГТД.....	7
1.2 Віб्रोабразивна обробка	8
1.2.1 Віб्रोабразивне обладнання	8
1.2.2 Обладнання некругового руху	9
1.2.3 Обладнання кругового руху	10
1.2.4 Наповнювачі віб्रोабразивних установок	14
1.3 Механічні щітки	17
1.3.1 Металеві щітки.....	17
1.3.2 Опис полімерно-абразивних щіток.....	18
2 Методика та умови досліджень	22
2.1 Експериментальні деталі	22
2.2 Методика віб्रोабразивної обробки	23
2.3 Методика обробки полімерно-абразивними щітками	24
3 Експериментальне дослідження щодо формування якості і властивостей поверхонь деталей	26
3.1 Результати віброполірування лопаток зі сплаву ХН45МВТЮБР-ИД.....	26
3.2 Обробка полімерно-абразивними щітками обертальної дії	29
4 Визначення напружено-деформованого стану лопатки.....	31
5 Економічне обґрунтування вибору варіанта операції фінішної обробки...	38
5.1 Розрахунки щодо економічної ефективності кожного з варіантів фінішного етапу	39
5.2 Вибір раціонального варіанту фінішного етапу, з урахуванням	

змінного масштабу виробництва.....	47
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	50
6.1 Аналіз потенційних небезпек.....	50
6.2 Заходи забезпечення безпеки.....	51
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	54
6.4 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки.....	61
6.5 Паніка під час надзвичайних ситуацій	65
7 Практичне застосування результатів експериментального дослідження.....	68
Висновки	69
Перелік джерел посилання	70
Додаток А. Протокол вимірювань	72

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ГТД	Газотурбінний двигун
ДБН	Державні будівельні норми
ДНАОП	Державний нормативний акт з охорони праці
ДСН	Державні санітарні норми
ДСТУ	Державний стандарт України
ЗОТС	Змащувально-охолоджуючі технологічні засоби
ККД	Коефіцієнт корисної дії
НАПБ	Нормативний акт з пожежної безпеки
НДС	Напружено-деформований стан
НПАОП	Нормативно-правові акти з охорони праці
ОП	Охорона праці
ПА	Полімерно-абразивний
ПАЩ	Полімерно-абразивні щітки
ПБЕ	Правила будови електроустановок
ПП	Прямий профіль круга
РСП	Світильник для ртутних ламп, закріплений на стелі, для промислових приміщень
ССБП	Система стандартів безпеки праці
ТП	Технологічний процес
ЧПК	Числове програмне керування

ВСТУП

Характеристики якості поверхневого шару істотно впливають на такі важливі експлуатаційні властивості деталей машин, як зносостійкість, статичну, тривалу і втомну міцність, корозійну стійкість, міцність з'єднань з натягом тощо.

Наприклад, на початку експлуатації поверхні деталей, що труться, контактують між собою по вершинах нерівностей, і в місцях контакту виникають великі тиски, що перевищують межу міцності. В результаті відбувається зріз, відламування і пластичний зсув вершин нерівностей, що призводить до інтенсивного початкового зносу і збільшення зазорів пари, що труться. Зміцнення поверхневого шару дуже впливає на опір втоми деталей машин.

Сприятливий профіль мікронерівностей шорсткості поверхонь забезпечує високу корозійну стійкість, сталий натяг пресових з'єднань тощо. При цьому це також мінімізує вплив технологічних концентраторів напружень, підвищуючи тим самим опір втоми. Шорсткість лопаток ГТД напряму впливає на інтенсивність проходження потоку в тракті двигуна, що в свою чергу визначає його ККД.

Саме тому при конструюванні та в процесі виготовлення деталей важливо знати, як впливають характеристики поверхонь деталей на їх експлуатаційні властивості. Це дає можливість правильно регламентувати вимоги до поверхонь деталей, уникнути необґрунтованих витрат на їхнє виготовлення та зменшити втрати від браку.

1 ОСОБЛИВОСТІ ПІДХОДУ ДО СЛЮСАРНОЇ ОБРОБКИ ДРІБНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1 Вплив масштабів виробництва на вибір слюсарних методів на прикладі лопаток ГТД

В залежності від масштабу виробництва вибирають обладнання, пристрої, інструменти. Проектування технологічних процесів механічної обробки деталей та складання машин проводять з урахуванням розміру виробничої програми, що визначає масштаб виробництва.

Масштаб виробництва значною мірою визначає характер технологічних процесів. Розуміючи конструкторські особливості та форму деталей, а також можливе виготовлення їх партіями або поштучно, необхідно раціонально вибрати метод фінішної обробки (або ремонту) відносно дрібних деталей, наприкладі лопаток газотурбінних двигунів (ГТД).

Кожен тип виробництва істотно впливає на кількість та якість оброблених деталей, і, в свою чергу, має свої особливості.

Одиничне (індивідуальне) виробництво характеризується малим обсягом випуску однакових деталей, повторне виготовлення яких зазвичай не передбачається.

До основних особливостей одиничного виробництва відносяться: відсутність заздалегідь обумовленої повторюваності операцій на робочих місцях; універсальність обладнання, пристроїв та інструменту; застосування спеціальних пристроїв та інструменту тільки у виняткових випадках; універсальність вимірювального інструменту, що застосовується для контролю деталей; висока кваліфікація робітників.

Серійне виробництво характеризується тим, що вироби виготовляють серіями чи партіями. При серійному виробництві застосовують переважно верстати з програмним управлінням, сучасні багатоцільові та багатофункціональні верстати.

Масовому виробництву властиві встановлений обсяг і характер роботи на робочих місцях; розташування робочих місць у порядку виконання операцій; відсутність міжопераційних доробок; застосування спеціальних високопродуктивних верстатів, пристроїв та інструментів [1].

Щодо прикладу дрібногабаритних деталей – лопаток компресору ГТД – відносно великі масштаби спостерігаються в серійному виробництві. І при наявності фінішного етапу їх можна обробляти віброабразивним методом через те, що можна полірувати велику кількість деталей одночасно, і цей метод враховує специфіку конструкції - тонкостінність та складнопрофільність досліджувальних деталей.

Із зменшенням масштабів виготовлення – експериментальне та ремонтне виробництво – використання віброабразивної обробки не є раціональним, тому потрібно шукати інші методи, які також мають враховувати особливості конструкції таких деталей: складну форму і тонкостінність. Наприклад, обробка багатофункціональними механічними щітками.

1.2 Віброабразивна обробка

1.2.1 Віброабразивне обладнання

Принцип роботи вібромашини полягає у передачі вібрації певної частоти та амплітуди від спеціального вібраційного приводу на робочу область машини.

Процес віброабразивної обробки супроводжується постійним нанесенням на поверхню оброблюваної заготовки більшої кількості мікроударів безліччю частинок робочого середовища при їх взаємному зіткненні і ковзанні, викликані діями направлених вібрацій, що відбуваються в той же час в робочій камері, в якій розміщено оброблювані деталі.

Саме така обробка дозволяє підняти на якісно новий рівень процедуру полірування. Забезпечує необхідні робочі характеристики поверхні полірованих деталей.

1.2.2 Обладнання некругового руху

Параметри вібрації налаштовані таким чином, щоб галтувальний наповнювач з оброблюваними виробами здійснювали хаотичний рух відносно одне одного. Частинки робочого середовища, що відмінні за своєю масою від оброблюваних деталей, під дією вібрацій переміщуються відносно поверхні цих деталей зі змінною швидкістю. При цьому наявне прослизання частинок по поверхні деталей і мікроудари.

Під час прослизання по поверхні деталей абразивні гранули знімають найдрібніші частинки металу, під час мікроударів відбувається часткове вдавлювання металу та локальне зміцнення в місцях контакту абразивних зерен з поверхнею деталі.

Наповнювач обирають в залежності від шорсткості поверхні, вимог до якості отриманої поверхні, а також форми і матеріалу оброблюваної деталі [2].

Вібраційні машини лоткового типу

Вібромашини лоткового типу (рис. 1.1) застосовуються для обробки довгих виробів, а також виробів великих розмірів або складної конфігурації. Також підходять для обробки великих та крихких виробів, через зменшення кількості зіткнень у порівнянні з машинами кругового руху.

Внутрішня робоча поверхня має зносостійке поліуретанове покриття, яке є стійким до впливу агресивних середовищ.



Рисунок 1.1 – Вібромашини лоткового типу [3]

Матеріали оброблюваних заготовок різноманітні – від металів і пластмас до гуми або скла. Машини можуть комплектуватися будь-якими допоміжними пристроями, що дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва [3].

1.2.3 Обладнання кругового руху

Для машин кругового типу обертання наповнювача може бути описано більш складною фігурою у вигляді спіралі, що закручується, по поверхні тора або барабана.

Під час цього руху відбуваються часті мікрозіткнення галтувальних тіл з поверхнею виробів, що призводить до абразивного знімання матеріалу з поверхні виробів – процес шліфування, або загладжування нерівностей на поверхні виробів – процес полірування.

Роторне обладнання

Принцип роботи роторного обладнання (рис. 1.2) полягає у передачі руху наповнювачу і оброблюваним у ньому заготовкам за допомогою механічного на них впливу лопатей роторної тарілки, що знаходиться на дні галтувального барабана.



Рисунок 1.2 – Роторне обладнання [3]

Конструктивно роторна машина являє собою нерухому чашу, внутрішня поверхня якої покрита поліуретаном у вигляді ступінчастого профілю спеціально розробленого для надання спірального обертання під час руху наповнювача і заготовок всередині чаші.

На дні чаші розташовується роторна лопатева тарілка, що обертається. При обертанні виконавчого механізму наповнювач, що захоплюється лопатями тарілки і одночасно відбиваючись від стінок галтувального барабана, отримує рух у вигляді тороподібної спіралі. Відсік повністю заповнюють галтувальною сумішшю. Для посилення ефекту нерухома зона всередині оснащена спеціальним профілем для створення правильної планетарно-тороподібної траєкторії руху вмісту чаші [3]. Деякі моделі передбачають фіксацію деталей на шпинделі. Такий підхід дозволяє збільшити

швидкість обробки за рахунок повідомлення виробам додаткових обертальних рухів.

Безперечними перевагами роторних машин є висока продуктивність; досконалий результат обробки заготовок; відносно невелика ціна; висока рентабельність; невелика максимальна маса машин; можливість обробляти маленькі за габаритними розмірами заготовки [4]. Серед недоліків слід зазначити: тривалість процесу, зношення робочих лопатей.

Галтувальні машини барабанного типу

Галтувальні машини барабанного типу (рис.1.3), представляють собою ємність (барабан, бочку), що обертається навколо горизонтальної вісі. Обробка заготовок відбувається за рахунок постійного перемішування галтувального наповнювача з виробами усередині барабана. На сьогоднішній день барабанні галтувальні машини застосовуються в основному для грубої обробки виробів після лиття (зняття облою, литників тощо).

Цей тип віброустановок має кілька суттєвих недоліків: найнижча продуктивність серед галтувальних машин; неможливість провести якісне шліфування та чистове полірування виробів, через практично відсутню можливість проведення вологого типу галтувальної обробки.



Рисунок 1.3 – Галтувальні машини барабанного типу [2]

Проте серед переваг, можна зазначити, що на одиницю витраченої електроенергії, машини барабанного типу мають найнижчу вартість та найпростішу конструкцію серед усіх галтувальних машин [2].

Кругова віброустановка

За допомогою кругових віброустановок (рис. 1.4), можна обробляти деталі будь-яких металів, синтетичних матеріалів, а також дерев'яні вироби.

Додавши відповідні периферійні пристрої для завантаження та подальшої обробки деталей, кругові віброустановки можна розширити до автоматичного обробного центру.

Кругові віброустановки використовуються в тому числі для видалення задирок. У процесі галтування поява нових задирок виключено повністю, оскільки процес йде по всій поверхні деталей[5].



Рисунок 1.4 – Кругова віброустановка [5]

У круговому віброгалтувальному барабані кожна деталь має радіальну складову свого руху (до центру робочої камери, де розташований вібраційний двигун) і тангенціальну (щодо кола робочої камери). У відповідності до того, яка з цих складових більше залежить від регулювання кута між противагами на вібраційному двигуні, деталь або проходить велику відстань по горизонталі в робочій масі, або інтенсивніше «підвертається» до центру установки, частіше занурюючись в абразивну масу.

Операції, які можна виконувати у кругових віброустановках: об'ємне шліфування та полірування; видалення задирок з деталей; притуплення гострих крайок; видалення облою з деталей, отриманих методом лиття під тиском; видалення напливів, окалини після термообробки або експлуатації; остаточне оздоблення (фінішування поверхні) деталей різної конфігурації із чорних та кольорових металів.

Серед переваг можна відокремити наступні:

- міцне і нескладне в управлінні обладнання;
- широкий спектр виконуваних завдань;
- здатність обробки доволі різноманітних за формою та розмірами деталей.

Тип обладнання віброгалтування підбирається відповідно до форми та розміру деталей, а також вимог до поверхні, технологічної програми та тимчасових обмежень [6].

Віброабразивна обробка є розповсюдженою, але через недолік інформації про нові розробки в цій галузі існує необхідність досліджувати аспекти цього методу по відношенню до конкретних деталей, що мають свої особливості.

Для фінішного етапу виготовлення дрібногабаритних лопаток ГТД в серійному виробництві найбільш раціональними є кругові віброабразивні установки.

1.2.4 Наповнювачі віброабразивних установок

Якість віброабразивної обробки визначається властивостями наповнювача, його фізичними характеристиками, режимами та тривалістю обробки.

Робоче середовище при віброабразивній обробці обирають в залежності від чистоти вихідної поверхні, вимог до якості віброобробленої поверхні, а також форми і матеріалу обробленої деталі.

У міру віддалення від стінок робочої камери амплітуда коливань частинок середовища та інтенсивність обробки зменшується.

Залежно від призначення операції, можуть застосовуватися абразивні матеріали різних характеристик, необхідної форми та розмірів.

Серед наповнювачів, можна видокремити наступні: формовані абразивні гранули; порцелянові кульки; шліфпорошок; сталеві загартовані кульки; відходи шліфування, вирубки; скляні кульки; дерев'яні кубики, обрізки шкіри.

Наприклад, шліфпорошок застосовується при віброшліфуванні дуже дрібних деталей, а також при віброполіруванні з м'якими наповнювачами типу повстяних пижів.

Абразивні гранули довільної форми отримують дробленням відходів абразивних кругів або інших матеріалів. Зернистість абразивних матеріалів в гранулах визначає при рівних умовах чистоту обробки поверхні і швидкість зйому металу. Твердість гранул абразивного наповнювача визначає їх стійкість.

Розміри гранул визначаються формою і розмірами глухих порожнин деталей, що підлягають обробці. В усіх випадках гранули повинні бути в 2-3 рази менше отворів і інших порожнин, що підлягають віброполіруванню.

При обробці з закріпленням деталі, вплив розмірів гранул на продуктивність несуттєвий [7].

Приклади наповнювачів

Сталевий наповнювач (рис. 1.5) не містить абразивних паст, тому виробі необхідно попередньо обробити абразивними наповнювачами, щоб видалити подряпини та нерівності з їхньої поверхні перед поліруванням.

Використовується лише зі спеціальними компаундами, наприклад, порошок. Залежно від розмірів та складності виробів важливо правильно

підібрати форму та розмір наповнювача.



Рисунок 1.5– Сталевий наповнювач [8]

Гранули шкарлупи волоського горіха H1/100 V0010 (рис. 1.6) застосовується для сухого фінішного полірування виробів із дорогоцінних металів у галтуваннях будь-якого типу. Наповнювач просочений полірувальною пастою так, що перші 3...4 завантаження паста не додається. Розмір гранул – 1,7...2,4 мм [8].

Наповнювач пластик жовтий (рис. 1.7) застосовуються для тонкого шліфування. Форма – конус. Розмір 10×10 мм. Режим роботи – волога обробка з компаундом [9].



Рисунок 1.6 – Гранули шкарлупи волоського горіха [8]



Рисунок 1.7 – Наповнювач пластик жовтий [9]

Галтувальні тіла застосовуються при обробці міряльного, медичного та слюсарно-монтажного інструменту; деталей автомобілів, мотоциклів, велосипедів, годинників; лопаток турбін; гребних гвинтів; шестерень; залізних виробів; металовиробів; фарфорових ізоляторів; сантехнічної арматури; ланцюгів; столових приладів; деталей протезів; меблевої, взуттєвої металофунітури та багато іншого. Галтувальні тіла – це спеціально

виготовлений абразивний інструмент у вигляді виробів геометричної форми (циліндр, призма, конус, куб тощо), що складається з шліфувального матеріалу на керамічному зв'язуванні. До них додають бой керамічних кругів, порцеляни, граніту, діабазу, металеві кульки, дерево, гальку, пінопласт тощо.

Співвідношення деталей та абразивного наповнювача від 1:3 до 1:15 у різних видах машин та відповідної чистоти обробки. Для досягнення ідеальної глянсової поверхні оброблюваних деталей додатково до галтувальних тіл використовують емульсії різного типу [7].

1.3 Механічні щітки

1.3.1 Металеві щітки

Механічні щітки з металевим ворсом (рис. 1.8) дуже добре виявляють себе при розмірному та безрозмірному поліруванні, очищенні, зачистці, знятті задирок, дають можливість механізації і автоматизації процесу, проте невисокий період стійкості (злам ворсинок у місці закріплення і через це – висока травмонебезпека) та металізація оброблених поверхонь звужують область застосування металевих інструментів-щіток [10].



Рисунок 1.8 – Металеві щітки обертальної дії [11]

Щітка може використовуватися як самостійний ручний інструмент та як насадка на електроінструменти. Незалежно від виду такі пристрої також

називають корщітками і кордщітками [11].

Для металевих поверхонь щітки поділяються на окремі групи. Залежно від сфери застосування виділяють:

- ручні щітки;
- спеціалізовані насадки для електроінструментів (наприклад, для дрелі або кутової шліфмашинки-болгарки).

Металеві щітки, що з'явилися набагато раніше, зарекомендували себе як високоефективний і універсальний інструмент, проте так звана металізація оброблюваних поверхонь та невеликий період стійкості, а саме злам ворсинок у місці закріплення, значно програють інструментам на основі полімерно-абразивних (ПА) волокон.

1.3.2 Опис полімерно-абразивних щіток

Для використання переваг щіток з синтетичних волокон і для мінімізації їх недоліків, що включають в себе слабке утримання абразиву, наступним етапом розвитку щіткових інструментів обертової дії є інструменти на основі полімерно-абразивних (ПА) волокон.

Ще на етапі розплавленого полімеру додають абразив певної зернистості, перемішують, потім проводять екструдкування волокон, в яких абразивні зерна рівномірно розподілені за обсягом полімеру. При цьому вже є непотрібним використання шліфувальних та поліруючих абразивних паст.

Волокно ПА інструментів (рис. 1.9) складається з двох компонентів:

- поліамід (нейлон) – міцний і високоеластичний полімерний матеріал, що виступає як сполучний елемент – основа;
- абразивні зерна, які безпосередньо беруть участь у процесі різання; матеріал абразиву – електрокорунд нормальний 14А або карбід

кремнію 63С.



Рисунок 1.9 – Волокна полімерно-абразивного інструменту [10]

Відсоткове співвідношення, в якому знаходиться обсяг абразивних зерен у загальному обсязі матеріалу волокна, становить близько 25-35%.

В іншому випадку, погіршуються втомно-міцнісні характеристики волокна. ПА інструмент випускається різної форми та конструктивного виконання [10].

Застосування тієї чи іншої конфігурації обумовлюється формою і кривизною поверхні, що обробляється, а також властивостями поверхневого шару, які необхідно забезпечити.

Відмінними властивостями полімерно-абразивних щіток, що говорять на користь їх використанню у виробництві, є:

- рівномірний шліфувальний ефект – при зношуванні полімерного матеріалу основи постійно відкривається новий абразивний матеріал;
- висока пружність та гнучкість без небезпеки руйнування;
- відсутність засолювання матеріалу робочими відходами;
- можливість застосування для вологих робіт, оскільки полімер не абсорбує значних кількостей охолоджувальних або змащувальних речовин;
- стійкість до впливу слабких кислот та лугів;
- великий термін служби при оптимальних режимах;
- невелике притискне зусилля;
- незначне виділення теплоти.

Основне обмеження інструментів, що містять полімери, це суворе дотримання температурного режиму через відносно низьку температуру плавлення полімерів (найбільш розповсюдженим є Поліамід-6, температура розм'якшення якого складає $100-120^{\circ}\text{C}$, але є розробки нових поліамідів для щіток – з тепловими обмеженнями 250°C).

ПА інструменти (рис. 1.10) демонструють також таку перевагу гнучких інструментів як зниження вимог до точності взаємного розташування деталі та обробного інструменту, зменшується складність руху інструменту, що робить автоматизацію та механізацію таких операцій технічно та економічно прийнятною через зниження вартості автоматичних пристроїв та їх програмування.

З іншого боку, обробка ПА щітками супроводжується невисоким рівнем температур, що важливо для тонкостінних деталей, а також матеріалів, схильних до перегріву.



Рисунок 1.10 – Дискові ПА інструменти фірм «Osborn» та «Піранья» [12],
[13]

Зношування ПА інструментів при дотриманні раціональних умов та режимів обробки протікає неінтенсивно і доволі повільно – поступово полімер у волокнах зношується, на кінцях волокон безперервно відкриваються нові ріжучі краї абразивного наповнювача.

Це основним чином забезпечує «чистий» інструмент з тривалим терміном служби та мінімальною правкою [10].

При порівнянні щіток з металевим та полімерно-абразивним ворсом є ще один важливий критерій – насичення поверхневого шару деталі матеріалом ріжучої частини інструменту, який після обробки металевими щітками проявляється іноді в негативному напрямку.

Наприклад, на титанових лопатках компресорів ГТД, абсолютно не схильних, тобто інертних, до окислення, після обробки металевими щітками з'являлась іржа по всій поверхні після тривалого зберігання. Це означає насичення поверхневого шару залізом, яке зразу після обробки є непомітним, бо поверхня також металева, але наявним, хоч деталі ретельно промивають. Якщо врахувати, що деталі після обробки металевими щітками піддають термообробці, а також вони працюють в умовах підвищених, або високих температур, то зміни хімічного складу тонкого поверхневого шару можна загально передбачити, але важко визначити конкретні хімічні сполуки і їх кількість. Відомо, що це може кардинально змінити властивості поверхневого шару, і у випадку лопаток ГТД, для яких важливо збереження хімічного складу не тільки серцевини, а й поверхневого шару, більш правильним є використання для фінішної обробки полімерно-абразивних щіток, які позбавлені цього недоліку.

Важливо відмітити, що з цим явищем можна боротися, використовуючи металеві щітки з дротом, виготовленим з матеріалу, аналогічного або близького по хімічному складу до оброблюваних деталей, наприклад, нержавіючий або латунний дріт. Але тут постає питання масштабів виробництва. Обробка нержавіючої сталі та латунних деталей є масовим явищем, тому виготовляти такі щітки є раціональним. Але виготовляти дріт для щіток з висококорозійностійкої сталі, жароміцних нікелевих сплавів або з титану для невеликих масштабів виробництва та в умовах ресурсозберігаючих технологій є нераціональним.

Тому є актуальним пошук, вивчення та використання в таких умовах виробництва більш відповідних фінішних методів та інструментів, таких, наприклад, як полімерно-абразивні щітки.

2 МЕТОДИКА ТА УМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Експериментальні деталі

Лопатки газотурбінних двигунів (рис. 2.1) є особо відповідальними деталями двигуна, які одночасно несуть різноманітні навантаження:

- відцентрові;
- вібраційні мало- та багатоциклові;
- теплові (в залежності від місця розташування в авіаційному двигуні).

Тому стан поверхневого шару та поверхні має великий вплив на експлуатаційні властивості.

Особливо важливим елементом лопатки є перо (спинка та корито).



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд лопаток ГТД

Досліджували дрібногабаритні лопатки (рис. 3.1) другого ступеню КВД зі сплаву ХН45МВТЮБР-ИД після високошвидкісного фрезерування.

2.2 Методика віброабразивної обробки

Роботи проводились на установці RÖSLER R180DL (рис. 2.2).

До особливостей данної установки можна віднести наступне: загальний об'єм складає 180 л, робоча зона без внутрішньої центральної частини, установка оснащена двоохланцевим двоохчастотним вібродвигуном RÖSLER з безступінчастим регулюванням, спеціальними змащувальними підшипниками, регульованими дебалансними вантажами і отвором для вивантаження абразивних тіл.



Рисунок 2.2 – Кругова установка фірми RÖSLER

Обробка лопаток виконувалась за трьома варіантами (режимами віброполірування).

Для першого варіанту обробки використовувалась кругова віброполірувальна установка фірми RÖSLER з абразивним наповнювачем марки RMB/D1 04/05/ZS. Параметри режиму обробки:

- маса абразивного наповнювача – в межах від 100 до 125 кг;
- частота обертів двигуна – 1500 об/хв;
- амплітуда коливання – 3...4 мм;
- час обробки – 1,5 години.

Другий варіант обробки по обладнанню аналогічний першому. Час

обробки лопаток складає 3 години.

Для третього режиму обробки використовували абразивний наповнювач марки RMB/D1 10/15S. Параметри режиму обробки:

- маса абразивного наповнювача – в межах від 125 до 150 кг;
- частота обертів двигуна – 1500 об/хв;
- амплітуда коливання – в межах 3...4 мм;
- час обробки – 5 годин.

Примітка – лопатки в установках оброблювались без закріплення.

2.3 Методика обробки полімерно-абразивними щітками

Рациональні режими обробки визначено на кафедрі технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка» за участі ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес».

Фінішна обробка пера лопаток ГТД щітковими ПА інструментами (після високошвидкісного фрезерного формоутворення з штампованих заготовок), складається з двох етапів. Верстат – фрезерний з ЧПК “Starragheckart”.

На *першому етапі* необхідно видалити шар металу зі «строчками», що залишились після високошвидкісного фрезерування (або зняття дефектного шару після травлення). Режими та умови обробки, що дозволяють це зробити з високою продуктивністю без зміни властивостей поверхневого шару, наступні.

Рациональні режими обробки визначено на кафедрі технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка» [14] за участі ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес».

Тип інструменту – дискова ПАЩ діаметром 75 мм фірми «Osborn». Характеристики:

- виліт полімерно-абразивного волокна 12 мм;

- діаметр волокон 1...1,2 мм;
- матеріал абразива 63С або 14 А;
- зернистість F90.

Режими оброблення:

- повздовжня подача 0,5...1,0 м/хв;
- швидкість різання 15...18 м/с (для сталевих та нікелевих лопаток) і 4...5 м/с (для титанових лопаток);
- натяг 1,5 мм ;
- поперечна подача 0,5...1,0 мм/хід;
- ЗОТС - «АЗМОЛ» 7%.

На *другому етапі* необхідно допрацювати прикомлеву ділянку і провести тонке полірування пера лопаток.

Тип інструменту – кінцева ПАЩ діаметром 22 мм фірми «Osborn».

Характеристики:

- виліт полімерно-абразивного волокна 10 мм;
- діаметр волокна 0,6 мм;
- матеріал абразива 63С або 14 А;
- зернистість F320.

Режими оброблення:

- повздовжня подача 1,0 м/хв;
- швидкість різання 15...18 м/с (для сталевих та нікелевих лопаток), 6...7 м/с (для титанових лопаток);
- натяг 1,5 мм;
- поперечна подача 1,0 мм/хід;
- ЗОТС - «АЗМОЛ» 7%.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Об'єктом дослідження є поверхневий шар лопаток, оброблених різними методами фінішної обробки, обраних в залежності від масштабів виробництва.

Мета роботи:

- підвищення якості поверхні деталей при виготовленні (усунення мікрodefektів поверхні) та видалення задирок;
- відпрацювання режимів вибраних методів в залежності від масштабів виробництва в умовах технологічного процесу виготовлення;
- оцінка отриманих результатів у порівнянні з заданими кресленням вимогами параметра шорсткості поверхонь і збереження геометричних розмірів деталей.

3.1 Результати віброполірування лопаток зі сплаву ХН45МВТЮБР-ИД

З лопаток компресора були складені три групи по 3 лопатки в кожній та пронумеровані по порядку в межах кожної групи.

Лопатки групи №1 і №3 оброблювались без відрізки технологічного прибутку. На лопатках групи №2 технологічний прибуток був відрізаний.

Зовнішній вигляд профілю пера лопаток з технологічним прибутком зі сторони «спинки» та «корита» після видалення слідів фрезерування представлений на рисунку 3.1.

Перед виконанням віброобробки всім групам лопаток була проведена слюсарна обробка пера за шаблонами і вимірювання у перерізах профілю та розмірів контактних поверхонь хвостовика лопаток.

В якості інструмента застосовувались полірувальні круги з електрокорундом білим 25А на вулканітовій зв'язці розмірами 80×10×32 і 100×20×20, і зернистістю, відповідно, F80 та F180.

Обробка лопаток виконувалась за трьома варіантами (режимами віброполірування 1,5, 2 та 5 годин), брали по одній лопатці з кожної партії.

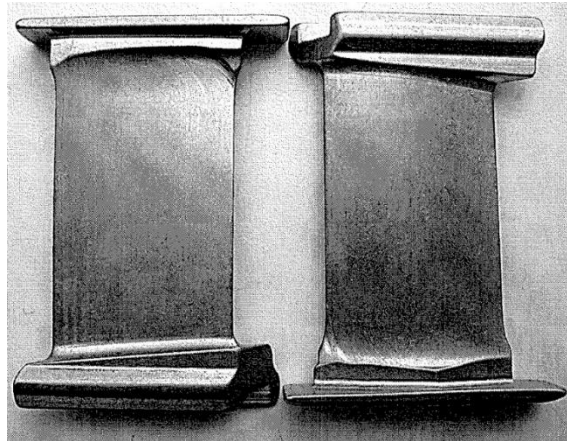


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд профілю пера лопаток

Вимірювання параметрів шорсткості поверхні пера проводилось до та після виконання віброполірування.

Результати вимірювань параметрів шорсткості поверхонь профілю лопаток до виконання віброполірування представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань параметрів шорсткості поверхонь профілю лопаток до виконання віброполірування.

Елементи вимірювань	Результат вимірювань
№ 2-1	
Зі сторони спинки	Ra 0,33...0,57
Зі сторони корита	Ra 0,51...0,76
№ 2-2	
Зі сторони спинки	Ra 0,6...0,66
Зі сторони корита	Ra 0,55...0,71
№ 2-3	
Зі сторони спинки	Ra 0,59...0,76
Зі сторони корита	Ra 0,69...0,72

Результати вимірювань параметрів шорсткості профілю пера лопаток зі сторони «корита» і «спинки» після виконання віброполірування за трьома режимами представлено в таблиці 3.2.

Партія № 2 була без захисної технологічної полки, щоб перевірити інтенсивність видалення металу на двох верхніх кутах пера лопаток. Величина радіусів заокруглення кутів за висотою профіля лопатки другої групи (рис. 3.2) склала 0,4 мм зі сторони вхідної крайки і 0,3 мм зі сторони вихідної крайки. Тобто значення радіусів входять в допуск відповідного розміру креслення деталі.

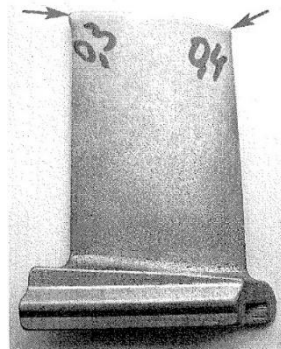


Рисунок 3.2 – Величина радіусів заокруглення кутів лопатки

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань параметрів шорсткості поверхонь профілю лопаток після виконання віброполірування за трьома режимами.

Елементи вимірювань	Результат вимірювань
t=1,5 год	
Зі сторони спинки	Ra 0,32...0,59
Зі сторони корита	Ra 0,33...0,41
t=3 год	
Зі сторони спинки	Ra 0,33...0,57
Зі сторони корита	Ra 0,33...0,43
t=5 год	
Зі сторони спинки	Ra 0,22...0,36
Зі сторони корита	Ra 0,18...0,22

Розміри за контрольними перерізами всіх оброблених лопаток входили в допуски креслення (додаток А).

Поверхневий наклеп на поверхні пера складав в залежності від тривалості обробки 19...31%.

Але після оброблення по першому режиму (1,5 години) на пері спостерігали залишки строчок, залишених після фрезерування.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок: віброабразивна обробка забезпечує необхідні вимоги креслення лопатки щодо якості і точності після 3...5 годин обробки. Випробування на витривалість, проведені на ЗМКБ «Івченко-Прогрес» показали, що лопатки, оброблені 3...5 годин, забезпечують базову довговічність.

3.2 Обробка полімерно-абразивними щітками обертальної дії

При різних обсягах виробництва замість вищенаведеного способу для полірування лопаток можна використовувати полімерно-абразивні щітки на верстатах з ЧПК.

Два типи ПА інструментів: дисковий та кінцевий (рис. 3.3) виробництва фірми «Osborn» додатково було встановлено за допомогою спеціально розроблених збалансованих адаптерів до магазину верстата з ЧПК «Starragheckart», на якому попередньо декількома фрезами проводилась операція чорнового і чистового фрезерування (формування) пера лопатки [14].

Дискова полімерно-абразивна щітка з $\varnothing 75$ мм (рис. 3.3, а) не деформує крайки лопаток, але недостатньо оброблює комлеву частину біля хвостовика.

З цією задачею впорається кінцева ПА щітка (рис. 3.3, б), тобто послідовне використання цих щіткових інструментів забезпечує необхідну якість та точність обробки отриманих поверхонь пера лопатки.



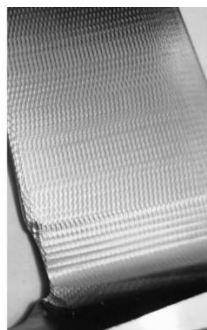
а) дискова



б) кінцева

Рисунок 3.3 – ПА щітки

Контроль якості поверхні показав поліпшення шорсткості $Ra=0,09...0,225$ мкм, повне видалення “строчок” (рис. 3.4), та відповідність розмірам креслення. Обробка є високопродуктивною, в тому числі і через інтенсивне застосування ЗОТС в закритій робочій зоні.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Лопатка вихідна (а) та після обробки двома типами ПАЩ (б)

Поверхневий наклеп, наведений цією обробкою, склав 12...17%.

Із змінням масштабів виробництва, коли віброабразивна обробка стає невідповідною, альтернативою може бути комплексна обробка ПА щітками.

4 ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЛОПАТКИ

Метою цього етапу роботи є визначення напружено-деформованого стану (НДС) лопатки та допустимих навантажень, при яких деталь буде працювати без критичних змін форми та руйнувань, а також розрахунок НДС лопаток з наявними строчками в комлевій частині, залишеними після обробки.

Для цього проводили розрахунок деталі на міцність за допомогою програми SIEMENS NX. Деталь закріплювали за нижню площину (рис.4.1) полки (позначено синім), спираючись на експлуатаційні умови лопатки та прикладали навантаження, які відповідають аеродинамічній та відцентровій силам (позначено червоним).

Матеріал деталі: ХН45МВТЮБР-ИД, границя міцності матеріалу при розтягуванні $[\sigma_b] = 1050$ МПа.

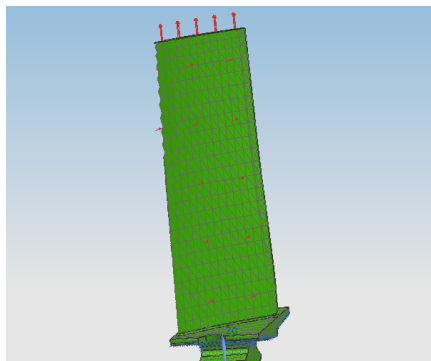


Рисунок 4.1 - Деталь з визначеними поверхнями закріплення та прикладеними навантаженнями.

Перевірили зміну напружено-деформованого стану деталі під дією навантажень в 1, 10, 50 та 100 МПа. Визначили, що картина розподілу напружень та переміщення (деформація) є аналогічною для різних значень навантажень, але змінюється кількісно. На рис. 4.2 зображено напружено-

деформований стан деталі під дією в 1 МПа. Максимальні значення напружень ($\sigma_{\max}$) та переміщень (ΔZ) представлено в табл. 4.1.

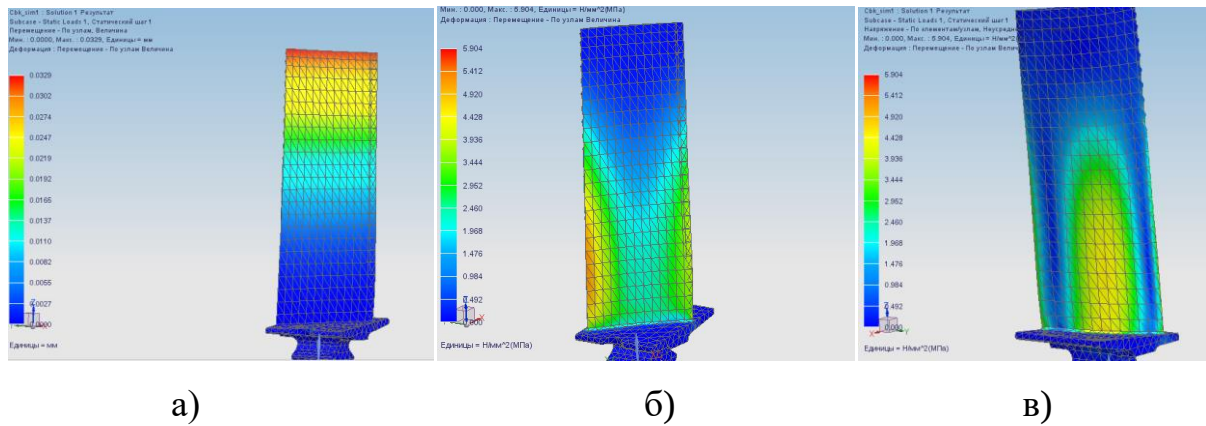


Рисунок 4.2 – Візуалізація НДС деталі за переміщенням по вузлах (а) та напруження по елементах та вузлах корита (б) і спинки (в).

Мінімально допустима величина коефіцієнта запасу міцності за напруженнями для відповідальних деталей авіаційно-космічної техніки встановлено $[n_\sigma] \geq 2$. Розрахуємо коефіцієнт запасу міцності за напруженнями за формулою (4.1):

$$n_\sigma = \frac{[\sigma_B]}{\sigma_{\max}} \quad (4.1)$$

де, $[\Delta Z]$ - граничне допустиме значення переміщення, 5 мм.

Коефіцієнт запасу міцності за переміщенням (допустиме значення якого є $[n_{\Delta Z}] \geq 2$) розраховується за формулою (4.2):

$$n_{\Delta Z} = \frac{[\Delta Z]}{\Delta Z_{\max}} \quad (4.2)$$

Результати виконаних розрахунків було занесено до таблиці 4.1. Графіки залежностей максимальних напружень та переміщень від прикладеного навантаження зображено на рис. 4.3.

Таблиця 4.1 - Результати розрахунків

Прикладене навантаження σ_0 , МПа	Максимальне переміщення ΔZ , мм	Максимальне напруження $\sigma_{\max}$, МПа	Коефіцієнт запасу міцності за переміщенням $n_{\Delta Z}$	Коефіцієнт запасу міцності за напруженням n_{σ}
1	0,03	5,9	167	178
10	0,33	59,04	15,2	17,8
50	1,64	295,21	3	3,5
100	3,3	590,43	1,5	1,8

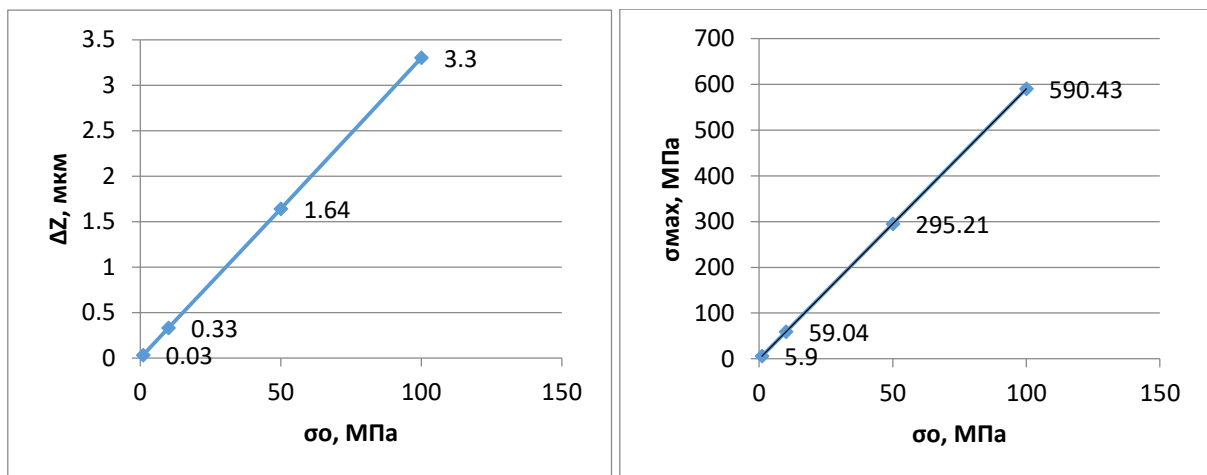


Рисунок 4.3 – Графіки залежностей максимальних напружень та переміщень від прикладеного навантаження

Під дією навантаження в 100 МПа значення $\sigma_{\max} = 590,43$ МПа, таким чином розраховані коефіцієнти запасу міцності знаходяться нижче

допустимого значення, тобто нижче 2. Для того щоб знайти максимальне (граничне) значення вихідного навантаження σ_0 для даної деталі, при якому деталь ще може працювати без ймовірності руйнування, побудували графіки залежностей коефіцієнтів запасу міцності за напруженням та переміщенням від прикладеного навантаження (рис. 4.4).

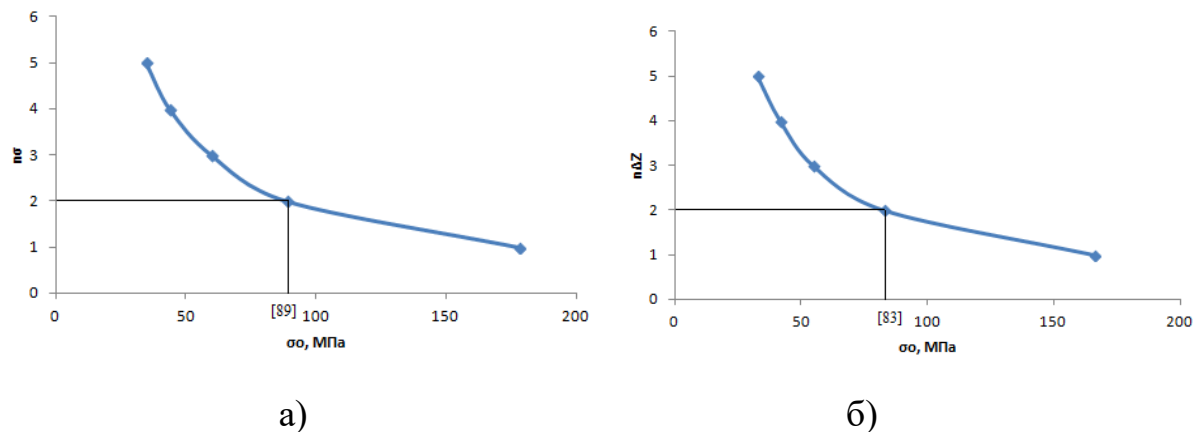


Рисунок 4.4 – Графіки залежностей коефіцієнтів запасу міцності за напруженням (а) та переміщенням (б) від прикладеного навантаження

Апроксимовано за допомогою графіків (рис. 4.4) знайшли граничні значення $\sigma_{\text{гран}}$ для двох критеріїв: напружень та переміщень, обрали найменше (лімітоване) з них: $\sigma_{\text{гран}} = 83$ МПа.

Розрахунок лопаток з строчками на поверхні.

Під час високошвидкісної обробки лопатки на її поверхнях залишаються строчки (рис. 4.5), які є концентраторами напружень. При обробці деякими фінішними методами вони можуть залишатися в важкодоступних місцях пера лопатки – комлевій частині. Тому доцільно змодельовати наявність строчок та визначити відмінність значень максимальних напружень, що виникають в деталі. Обрали висоту та крок строчок значенням: $h = 0,15; 0,3; 0,6$ мм.

Навантаження прикладали аналогічне (аеродинамічне та відцентрове) із визначеною граничною величиною $\sigma_0 = 83 \text{ МПа}$.

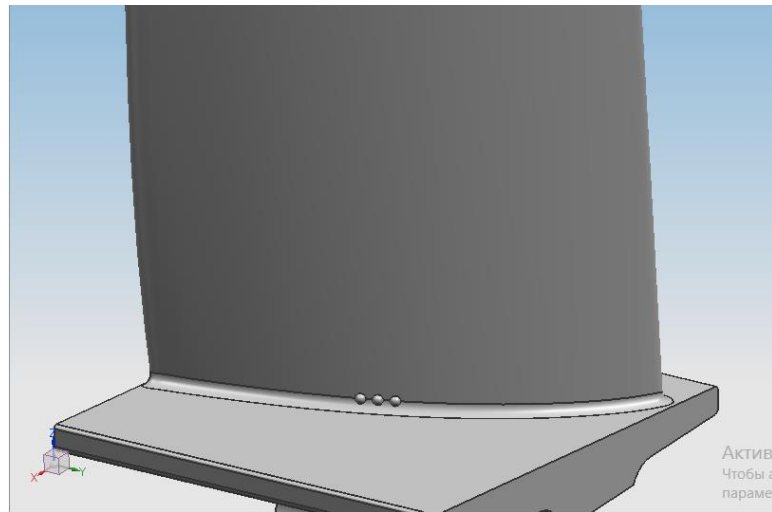


Рисунок 4.5 - Візуалізація строчок на 3D-моделі

На рис. 4.6 продемонстровано напружено-деформований стан деталі для різних строчок. Строчки на моделі розташували в найбільш вірогідному важкодоступному для обробки місці – в центрі комлевої частини на верхній границі радіусу переходу пера в хвостовик.

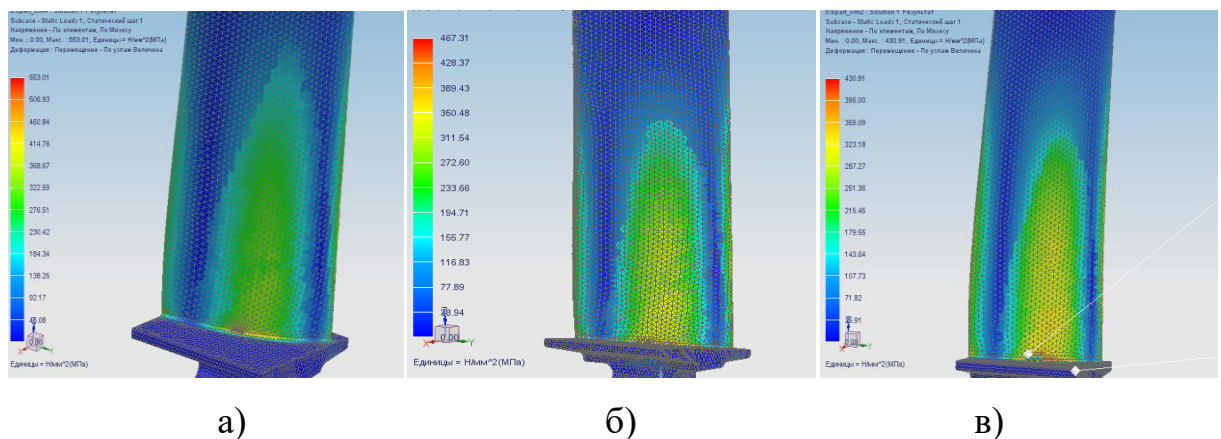


Рисунок 4.6 – Візуалізація напружено-деформованого стану деталі під дією навантаження для: $h=0,15 \text{ мм}$ (а); $h=0,3 \text{ мм}$ (б); $h=0,6 \text{ мм}$ (в).

Отримані результати внесені в таблицю 4.2.

Максимальне переміщення $\Delta Z_{\max}$ є однаковим як без строчок, так і для моделей з строчками різної висоти. Тому цей критерій враховувати не будемо. Але значення максимальних напружень змінилось.

Таблиця 4.2 - Результати визначення напружено-деформованого стану при зміні висоти строчок при навантаженні $\sigma_0 = 83$ МПа

Висота строчки h , мм	Максимальне переміщення $\Delta Z_{\max}$, мм	Максимальне напруження $\sigma_{\max}$, МПа	Коефіцієнт концентрації напружень λ_σ
без строчок	2,49	411,72	-
0,15	2,49	553,01	1,34
0,3	2,49	467,31	1,13
0,6	2,49	430,91	1,04

Тому розраховували коефіцієнт концентрації напружень λ_σ тільки по напруженням за формулою (4.3):

$$\lambda_\sigma = \frac{\sigma_{\max \text{ з конц}}}{\sigma_{\max \text{ без конц}}} \quad (4.3)$$

На рисунку 4.7 зображено, як змінюється максимальне напруження деталі залежно від значення висоти та кроку строчок h . Робимо висновок, що при зменшенні кроку строчки, збільшується напруження в западинах профілю поверхні.

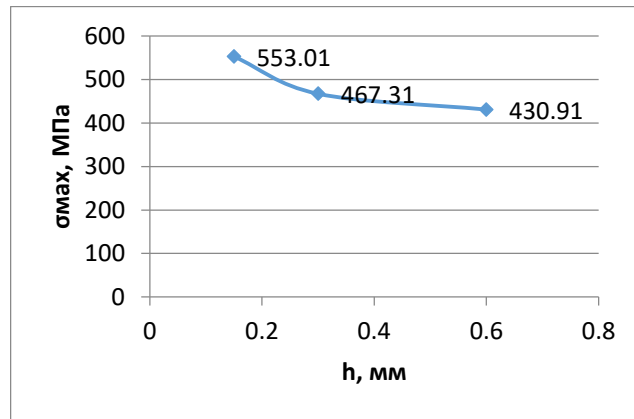


Рисунок 4.7 - Графік залежності максимального напруження від параметра строчок h

В результаті розрахунків:

1) отримали лінійну залежність максимальних напружень та переміщень, що виникають в деталі, від прикладеного навантаження, тому що умови експлуатації деталі знаходяться у лінійній області залежності «деформація-напруження». Визначили граничне значення навантаження σ_0 для даної деталі, при якому деталь може працювати без ймовірності руйнування;

2) розраховували коефіцієнт концентрації напружень за наявністю строчок. Визначили, що наявність строчок дослідженого діапазону висоти та кроку строчки призводить до збільшення напруження в деталі через несприятливий мікрорельєф хвилястості, що призводить до падіння коефіцієнту запасу нижче допустимого значення, тому необхідно передбачити видалення цих строчок технологічними методами на фінішному етапі технологічного процесу виготовлення лопаток.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВАРІАНТА ОПЕРАЦІЇ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ

Надійність роботи ГТД головним чином залежить від якості кожної деталі, особливо відповідальних, що несуть складні навантаження. Тому особлива увага приділяється операціям фінішного етапу виготовлення деталей ГТД, що забезпечує необхідну якість поверхонь.

В даній роботі представлені два основних варіанти виконання фінішної обробки пера лопаток ГТД зі сплаву ХН45МВТЮБР-ИД.

I варіант. Обробка відбувається в два етапи:

- перший етап – полірування вручну лопаток, де в якості інструмента застосовувались абразивні круги – полірувальні круги з електрокорундом білим 25А на вулканітовій зв'язці розмірами 80×10×32 і 100×20×20, і зернистістю, відповідно, F80 та F180.

- другий етап – віброполірування лопатки тривалістю 5 годин на круговій установці RÖSLER R180DL з використанням абразивного наповнювача марки RMB/D1 10/15S.

II варіант. Обробка пера лопаток ГТД щітковими полімерно-абразивними інструментами (після високошвидкісного фрезерного формоутворення з штампованих заготовок), також складається з двох етапів.

Обладнання – верстат фрезерний з ЧПК «Starragheckart».

На *першому етапі* необхідно видалити шар металу зі «строчками», що залишились після високошвидкісного фрезерування (або зняття дефектного шару після травлення). Тип інструменту – дискова ПАЩ діаметром 75 мм фірми «Osborn».

На *другому етапі* необхідно допрацювати прикомлеву ділянку і провести тонке полірування пера лопаток. Тип інструменту – кінцева ПАЩ діаметром 22 мм фірми «Osborn».

Два типи ПА інструментів: дисковий та кінцевий виробництва додатково було встановлено за допомогою спеціально розроблених збалансованих адаптерів до магазину фрезерного верстата з ЧПК «Starragheckart», на якому попередньо декількома фрезами проводилась операція чорнового і напівчистового фрезерування пера лопатки.

5.1 Розрахунки щодо економічної ефективності кожного з варіантів фінішного етапу

Одним з основних показників під час розрахування ефективності кожного методу є собівартість виготовлення деталі, що розраховується за формулою (5.1). Розрахунок ведуть за методикою [15]:

$$C_i = Z + H + A + E + I_n + P + J + O \quad (5.1)$$

де Z – заробітна плата робочого, грн.;

H – нарахування, які складають 40 % від заробітної плати, грн.;

A – амортизаційні відрахування, які складають 20 % від заробітної плати, грн.;

E – витрати на електроенергію, грн.;

I_n – витрати на інструмент, грн.;

P – витрати на переточку/правку інструмента, грн.;

J – витрати на ЗОТС, грн.;

O – вартість установки в перерахуванні на одну деталь, грн.

1) Спочатку з'ясуємо заробітну плату робочого (З), що оброблює деталь, за допомогою формули (5.2):

$$З = C_T \cdot t_{шт} / 60 \quad (5.2)$$

де C_T – годинна ставка робітника, грн/год.

$t_{шт}$ – штучний час, хв.

Годинна ставка робітників, що полірують лопатку вручну за допомогою абразивних кругів І-го варіанту, залежить від розряду роботи – в нашому випадку 5 і 7 розряд відповідно.

Використовуючи методичні вказівки, можемо знайти дані заробітної плати робочого в грн/хв.

Ставка робочого слюсаря:

- 5-го розряду – 1,293 грн/хв, відповідно 77,6 грн/год;
- 7-го розряду – 1,414 грн/хв, відповідно 84,8 грн/год.

Оператор верстата з ЧПУ, що оброблює деталь за II варіантом за допомогою ПАІ:

- 6-го розряду – 1,617 грн/хв, відповідно 97,02 грн/год.

Значення штучного часу ($t_{шт}$) отримуємо з документації на виробництві для кожного з варіантів.

Для І варіанту:

$$t_{шт1} = 80 \text{ хв/шт};$$

$$t_{шт2} = 7,5 \text{ хв/шт}.$$

За II варіантом:

$$t_{шт3} = 20,5 \text{ хв/шт}.$$

Розрахуємо заробітну плату робітників І варіанту.

- полірування лопаток вручну за допомогою абразивних кругів:

$$З_1 = (77,6 \cdot 80) / 60 = 103 \text{ грн/шт}$$

- полірування лопаток в круговій віброустановці RÖSLER:

$$З_2 = (84,8 \cdot 7,5) / 60 = 10,6 \text{ грн/шт}$$

$$З_I = З_1 + З_2 = 103 + 10,6 = 113,6 \text{ грн/шт}$$

Розрахуємо заробітну плату робітників II варіанту.

– полірування пера лопаток ПА щітками:

$$З_{II} = (97 \cdot 20,5) / 60 = 33 \text{ грн/шт}$$

2) Нарахування (Н), які складають 40 % від заробітної плати (З) будуть наступні:

$$Н_1 = 41,2 \text{ грн/шт};$$

$$Н_2 = 4,2 \text{ грн/шт};$$

$$Н_I = Н_1 + Н_2 = 45,4 \text{ грн/шт};$$

$$Н_{II} = 13,2 \text{ грн/шт}.$$

3) Амортизаційні відрахування (А), які складають 20% від заробітної плати (З), будуть наступні:

$$А_1 = 21 \text{ грн/шт};$$

$$А_2 = 2,1 \text{ грн/шт};$$

$$А_I = А_1 + А_2 = 23,1 \text{ грн/шт};$$

$$А_{II} = 6,6 \text{ грн/шт}.$$

4) Витрати на електроенергію (Е) розрахуємо за допомогою формули (5.3):

$$E = P_{\Sigma} \cdot t_o \cdot E_{CT} \quad (5.3)$$

де E_{CT} – вартість електроенергії на виробництві, грн/кВт;

P_{Σ} – сумарна потужність електрообладнання, що застосовується, кВт.

Вартість електроенергії на виробництві $E_{CT} = 3,4$ грн/кВт.

Сумарна потужність полірувальної бабки, на якій виконують ручне полірування, дорівнює, $P_{\Sigma I} = 3$ кВт/год.

Сумарна потужність віброабразивної установки $P_{\Sigma 2} = 3$ кВт/год.

Сумарна потужність фрезерного верстата з ЧПК «Starragheckart»
 $P_{\Sigma(II)}=24$ кВт/год.

Основний час обробки (t_o) для кожної операції беремо з технічної документації на виробництві.

Для I варіанту:

$$t_{o1}=77 \text{ хв/шт};$$

Набір лопаток 40 шт, основний час – $t_{o2}=4$ год 24 хв;

$$t_o = 4,4 \text{ год} \cdot 60 = 264 \text{ хв/набір}$$

$$\text{Звідси: } t_{o2}=264/40=6,6 \text{ хв/шт.}$$

Для II варіанту:

$$t_{o(II)} = t_o \text{ диск} + t_o \text{ кінц} = 14 + 4,5 = 18,5 \text{ хв/шт.}$$

Розрахуємо витрати на електроенергію (E) I варіанту.

– полірування лопаток вручну за допомогою абразивних кругів:

$$E_1 = (3 \cdot 77 \cdot 3,4) / 60 = 13,1 \text{ грн/шт}$$

– полірування лопаток в круговій віброустановці RÖSLER:

$$E_2 = (3 \cdot 6,6 \cdot 3,4) / 60 = 1,1 \text{ грн/шт}$$

$$E_I = E_1 + E_2 = 14,2 \text{ грн/шт.}$$

Розрахуємо витрати на електроенергію II варіанту.

– полірування пера лопаток ПА щітками:

$$E_{II} = (24 \cdot 18,5 \cdot 3,4) / 60 = 25,2 \text{ грн/шт}$$

5) Вартість інструменту (I_H), що враховується в собівартість деталі, визначається його видом та кількістю, якої буде достатньо для виконання обробки.

Спочатку розраховуємо вартість інструменту на рік (тобто для річної програми N) за допомогою формули (5.4):

$$I_{HN} = C_{IH} \cdot K_D / (K_{од} \cdot V) \quad (5.4)$$

де C_{IH} – вартість одного інструменту, грн.;

K_d – кількість інструментів, потрібних для обробки деталі, шт.;

$K_{од}$ – кількість одночасно оброблюваних деталей, шт.;

V – число наборів інструменту для даної деталі, що обробляється на даному обладнанні за рік, тобто для річної програми N .

Розглянемо I варіант.

– Вартість полірувальних кругів з електрокорундом білим 25А на вулканітовій зв'язці розмірами $80 \times 10 \times 32$ – 140 грн, а вартість фетрового накатного $100 \times 20 \times 20$ – 195 грн.

Цих інструментів достатньо для обробки 200 деталей, тому для $N=1000$ – маємо 5 наборів інструментів на рік.

Сумарно вартість двох абразивних кругів, які є інструментом першого етапу дорівнює $C_{IH} = 335$ грн

Вартість абразивного наповнювача марки RMB/D1 10/15S – 370 грн за кг, в нашому випадку застосовують 150 кг наповнювача (достатньо для обробки 1000 деталей при визначених умовах, тобто для кожних 40 деталей 5 годин віброабразивної обробки. Наповнювач самозаточуємий, оновлюється, тому його достатньо на 25 таких операцій).

Розрахуємо вартість інструменту на рік I варіанту обробки:

$$I_{H(N1)} = 335 \cdot 2 / (1 \cdot 5) = 134 \text{ грн/рік}$$

$$I_{H(N2)} = 370 \cdot 150 / (40 \cdot 1) = 1388 \text{ грн/рік}$$

$$I_{H(NI)} = I_{H(N1)} + I_{H(N2)} = 134 + 1388 = 1522 \text{ грн/рік.}$$

Розглянемо II метод.

Вартість дискової щітки – 591 грн, а кінцевої щітки D10 «OSBORN» – 475 грн.

Сумарно їх вартість дорівнює $C_{IH} = 1066$ грн.

Розрахуємо вартість інструменту на рік:

$$I_{H(НИI)} = 1066 \cdot 2 / (1 \cdot 2) = 1066 \text{ грн/рік.}$$

Вартість інструменту на 1 деталь розрахуємо за формулою (5.5):

$$I_H = I_{H(N)} / N \quad (5.5)$$

$$I_{H(1)} = 134 / 100 = 1,34 \text{ грн/шт}$$

$$I_{H(2)} = 1388 / 100 = 13,88 \text{ грн/шт.}$$

Для I варіанту:

$$I_{H(I)} = I_{H(1)} + I_{H(2)} = 1,34 + 13,88 = 15,2 \text{ грн/шт}$$

Для II варіанту:

$$I_{H(II)} = I_{H(III)} / N = 1066 / 1000 = 10,6 \text{ грн/шт.}$$

6) Витрати на переточку/правку інструмента (П), розраховуємо за формулою (5.6):

$$П = П_P \cdot K_{ПР} \cdot K_D \quad (5.6)$$

де $П_P$ – вартість правки інструменту, грн;

$K_{ПР}$ – число правок на одну деталь.

Переточки (правки) потребує лише полірувальний круг, оскільки фетровий правки не потребує.

Вартість правки полірувального круга – $П_P = 45$ грн.

В нашому випадку одна правка інструмента виконується один раз на 40 деталей, тому на одну деталь – $K_{ПР} = 1/40 = 0,025$ правок.

Отже, розраховуємо витрати на правку інструмента:

$$П_I = П_1 + П_2 = (45 \cdot 0,025 \cdot 1) + 0 = 1,1 \text{ грн/шт}$$

$$П_{II} = 0$$

Наповнювач віброабразивної установки періодично змінюється для обробки деталі. Полімерно-абразивні щітки відносяться до самозаточуваних та не потребують правки.

7) Витрати на ЗОТС (Ж) розраховуємо за допомогою формули (5.7):

$$Ж = C_{Ж} \cdot O_{Ж} / 1000 \quad (5.7)$$

де $C_{\text{ж}}$ – вартість 1 л ЗОТС, грн./л;

$O_{\text{ж}}$ – об'єм ЗОТС, який потребує обробка однієї деталі, л.

В нашому випадку ЗОТС – моторне масло «AZMOL».

$C_{\text{ж}}=218$ грн/л.

а) ЗОТС не використовується під час полірування лопаток вручну за допомогою абразивних кругів, а тому $O_{\text{ж1}}=0$.

б) Об'єм ЗОТС, який потребується для обробки 40 деталей в круговій віброустановці RÖSLER:

- 5л «AZMOL» на 40 лопаток – $O_{\text{ж2}}=5/40=0,125$ л.

в) Об'єм ЗОТС, який потребується для обробки 120 лопаток полімерно-абразивними щітками:

- 20л «AZMOL» на 120 лопаток очищується через сепаратор – $O_{\text{ж3}}=20/120=0,16$ л.

Розрахуємо витрати на ЗОТС I варіанту:

$$Ж_1 = Ж_1 + Ж_2 = 0 + (218 \cdot 0,125) = 27 \text{ грн/шт}$$

Розрахуємо витрати на ЗОТС II варіанту:

$$Ж_{II} = 218 \cdot 0,16 = 35 \text{ грн/шт.}$$

8) Потреба в розрахунку вартості установки ($O_{\text{уст}}$) на одну деталь відсутня, так як використовуване обладнання в наявності на підприємстві і його не треба купувати.

Вихідні дані та додаткові розрахунки вказані в таблиці 5.1.

Собівартість виготовлення деталі для кожного з варіантів.

Для I варіанту:

$$C_I = (113,6 + 45,4 + 23,1 + 14,2 + 15,2 + 1,1 + 27) = 239,6 \text{ грн/шт.}$$

Для II варіанту:

$$C_{II} = (33 + 13,2 + 6,6 + 25,2 + 10,6 + 0 + 35) = 123,7 \text{ грн/шт.}$$

Таблиця 5.1 – До розрахунку економічної ефективності варіанту операції

Параметр	Вар. I	Вар. II
1	2	3
Вихідні дані:		
Набір лопаток N, шт	1000	
Величина повздовжньої подачі S, м/хв	–	1
Ставка слюсаря 5-го/7-го розряду/оператора верстата з ЧПК 6-го розряду, Ст, грн/хв	1,293/1,414	1,617
Число оброблюваних лопаток за одну установку	1/40	1
Основний час обробки t_o , хв/шт	77/6,6	18,5
Штучний час $t_{шт}$, хв/шт	80/7,5	20,5
Сумарна потужність електродвигунів обладнання P_{Σ} , кВт/год	3/3	24
Вартість шліфувальних кругів для ручної обробки $\Pi_{и}$, грн	140/195	–
Вартість одного ПАІ $\Pi_{и}$, грн	–	591/475
Вартість наповнювача, грн/кг	–/370	–
Вартість правки інструмента Π_r , грн	–/45	–
Вартість інструменту Π_n на рік, грн/рік	1522	1066
Число правок інструмента на одну деталь $K_{пр}$	–/0,025	–
Вартість 1 л ЗОТС $C_{ж}$, грн/л	–/218	218
Об'єм ЗОТС, який потребує обробка 1 деталі $O_{ж}$, л	0/0,125	0,16

Результат розрахунку собівартості виготовлення однієї деталі (з вихідним даним – річної програми випуску $N=1000$ шт) без врахування вартості обладнання вказано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Норми витрат на 1 деталь

Параметр	Вар. I	Вар. II
1.Заробітна плата З, грн/шт.	113,6	33
2.Нарахування на заробітну плату (39,5%) Н, грн/шт	45,4	13,2
3. Амортизаційні відрахування А, грн/шт	23,1	6,6
4. Витрати на електроенергію Е, грн/шт.	14,2	25,2

Продовження таблиці 5.2.

5. Вартість інструменту на 1 деталь, грн/шт	15,2	10,6
6. Витрати на правку інструмента П, грн/шт	1,1	0
7. Використання ЗОТС (Ж), грн/шт	27	35
9. Вартість установки на 1 деталь О, грн.	0	0
Загальна норма витрат на 1 деталь С, грн.	239,6	123,76

Наближений розрахунок економічної ефективності застосування різних варіантів виконання даної фінішної операції у перерахунку на 1 лопатку показав, що для цього масштабу виробництва ($N=1000$ шт) при наявності обладнання більш вигідним є II варіант – комплексна обробка ПАЩ на верстаті з ЧПК без зняття лопатки після високошвидкісного фрезерування).

Але у випадку, коли необхідно вибрати більш економічний варіант фінішного етапу ТП виготовлення лопатки з початку, з вибором необхідного обладнання, з розподіленням його вартості на продукцію, що виготовляється, (амортизація обладнання) в залежності з заданою річною програмою випуску лопаток N , треба знайти граничне значення $[N]$, яке буде розділяти варіанти за економічністю.

5.2 Вибір раціонального варіанту фінішного етапу, з урахуванням змінного масштабу виробництва

До відомих значень C_I та C_{II} (п. 5.1) додаємо вартість обладнання, яку враховуємо як амортизаційні відрахування (розподілені на 5 років) на обладнання, тобто 20% на рік. Це значення річних амортизаційних відрахувань розділяємо на річну програму випуску N .

Повну собівартість CB_I варіантів можна розрахувати за формулою (5.8):

$$CBI = CI + \frac{0,2B}{N} \quad (5.8)$$

де C_I – собівартість виготовлення деталі для кожного з варіантів, без урахування обладнання, грн.

B – вартість обладнання для кожного з варіантів обробки лопаток, в грн.

Вартість обладнання (установок і верстатів), що використовується для фінішного етапу обробки лопаток за варіантами:

I варіант:

Полірувальна бабка $B_1 = 41042$ грн.;

Установка «RÖSLER» $B_2 = 740000$ грн..

Сумарно $B_I = B_1 + B_2 = 41042 + 740000 = 781042$ грн.

II варіант:

Верстат з ЧПК «Starragheckart» $B_{II} = 3\,315\,692$ грн.

За варіантами повна собівартість дорівнює, за формулою (5.9):

$$CB_I = C_I + \frac{0,2B_I}{N} \quad (5.9)$$

$$CB_{II} = C_{II} + \frac{0,2B_{II}}{N}$$

Чисельні та графічні результати розрахунку приведено в табл. 5.3 та на рисунку (5.1). Знайдемо точку перетину двох графіків.

Для цього визначимо N у випадку, коли $CB_I = CB_{II}$, за допомогою формули (5.10).

Отримаємо:

$$N = \frac{0,2(B_{II} - B_I)}{C_I - C_{II}} \quad (5.10)$$

$$N = \frac{0,2(3315692 - 781042)}{239,6 - 123,76} = 4370 \text{ шт}$$

Таблиця 5.3 – Собівартість варіантів фінішного етапу, грн, з урахуванням масштабу виробництва.

N, шт.	I варіант	II варіант
1000	395,81	786,74
2000	317,7	455,17
4000	278,65	289,38
5000	270,84	256,23
6000	265,63	234,12
7000	261,92	218,33
10000	255,22	189,91

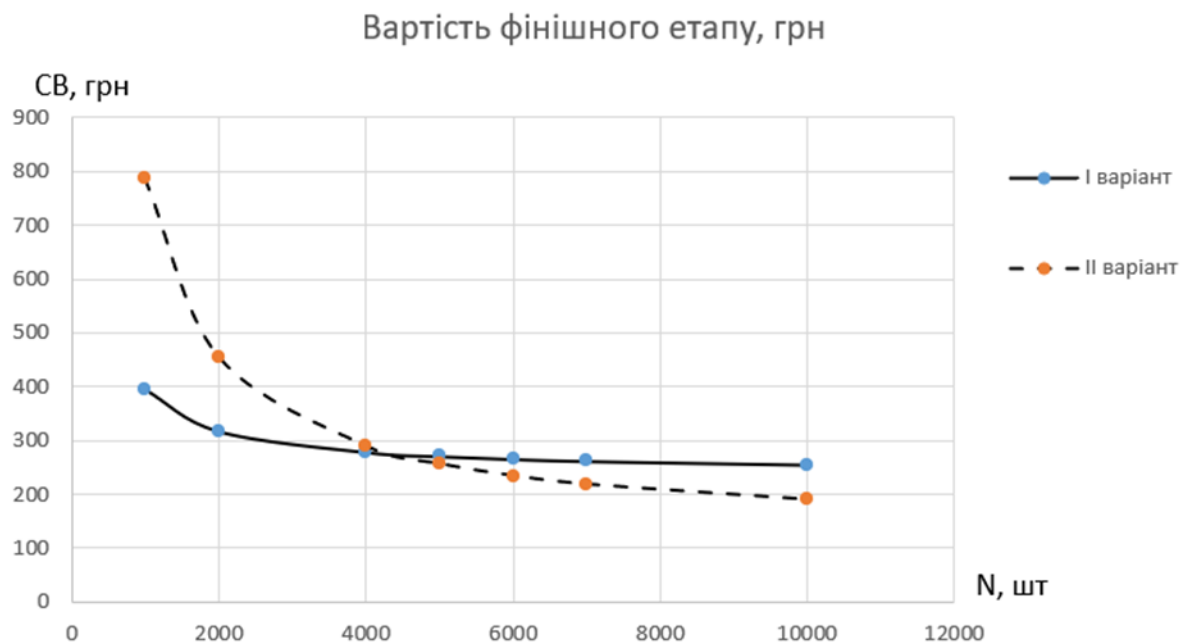


Рисунок 5.1 – Залежності собівартостей варіантів фінішного етапу від річної програми випуску

Результати розрахунку (рис. 5.1) показують, що при значеннях річної програми випуску N , менших від 4370 шт, – більш економічним буде використання I варіанту, а при $N > 4370$ шт, – II варіант – більш вигідний.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Особливо важливо в умовах підприємства розуміння того, що основою системи охорони праці має бути запобігання нещасним випадкам та іншим ушкодженням здоров'я, що можуть виникнути через роботу, в процесі роботи або пов'язаних з нею, зводячи до мінімуму, наскільки це обґрунтовано і практично здійснено, причини небезпек, які властиві виробничому середовищу.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

Потенційні небезпеки під час обробки деталі у виробничому цеху, можуть бути наступними:

1. Потенційні небезпеки фізичного характеру.

Можливе механічне травмування або поріз гострими кромками під час роботи з полірувальними кругами при порушенні правил роботи з інструментом та відповідних режимів обробки деталей або внаслідок захаращеності робочої ділянки та порушень правил експлуатації обладнання.

Можливі травми очей осколками ріжучого інструменту (полірувальний круг) внаслідок незадовільної організації виконання робіт та неузгодженості дій.

2. Потенційні небезпеки психофізіологічного характеру.

Наприклад, монотонність праці слюсаря, котрий вручну оброблює деталь (І метод) або помилкові дії оператора верстата з ЧПК, що оброблює лопатку за допомогою щіток (ІІ метод), внаслідок втоми через надмірну важкість виконуваної роботи.

Також суттєву роль грає недостатнє врахування вимог ергономіки, зокрема захащеність робочої зони в цеху.

3. Потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру.

Наприклад підвищена запиленість в зоні дихання, під час віброобробки лопаток та їх полірування ПА інструментами при відсутності засобів захисту може привести до бронхітів та збільшенню частоти загальних захворювань.

У процесі механічної обробки полімерними матеріалами, а саме полімерно-абразивними щітками, відбуваються механічні та фізико-хімічні зміни їх структури (термоокислювальна деструкція).

4. Потенційні небезпеки, що пов'язані з порушенням правил пожежної безпеки, наприклад, коротке замикання, несправності системи охолодження обладнання та подачу рідини, а також конструктивні недоліки устаткування, їхня несправність. Або, наприклад, незадовільне освітлення робочого простору через надмірну забрудненість освітлюваних приладів чи їх несправність, може призвести до появи аварійних ситуацій.

5. Потенційні небезпеки організаційного характеру.

Через неякісне проведення інструктажів та навчання з охорони праці, порушення встановлених правил, стандартів, вимог інструкцій, правил експлуатації обладнання, недостатній технічний нагляд та неналежне виконання заходів з охорони праці можливе виникнення негативних наслідків або небезпек.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для мінімізації або безпосереднього виключення негативного впливу потенційних небезпек виробничого процесу фізичного, психофізіологічного або санітарно-гігієнічного характеру, необхідно розробити відповідні заходи по забезпеченню безпеки на підприємстві.

У відповідності до НПАОП 0.00-7.11 – 12 «Загальні вимоги щодо забезпечення роботодавцем охорони праці працівників» має бути обов'язковим наступне:

- усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці (ОП) згідно типового положення затвердженого наказом державної праці 26.01.2005;
- роботодавець повинен забезпечити повною і детальною інформацією про можливі небезпеки, як відносно усього підприємства, так і відносно конкретних видів робіт;
- роботодавець повинен вжити термінових заходів для евакуації працівників, надання першої медичної допомоги потерпілим у разі виникнення надзвичайних ситуацій, усунення їх наслідків, за необхідності залучити зовнішні служби невідкладної медичної допомоги та підрозділи пожежної охорони.

Серед можливих небезпек, заходів їх попередження можна назвати наступні:

- 1) Для уникнення механічного травмування або порізу інструментом (полірувальний круг), під час виконання роботи працівник має бути забезпечений спеціальним одягом та індивідуальними захисними засобами, зокрема захисний комбінезон від механічних ушкоджень, чоботи, захисні рукавиці, відповідно до ДСТУ 7239:2011 «Засоби індивідуального захисту. Система стандартів безпеки праці».

Нагляд, контроль та заходи для забезпечення сприятливого стану робочої зони та дотримання вимог до безпечності підприємства здійснює Державний комітет України по нагляду за охороною праці, відповідно до ДСТУ 3273-95 «Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги».

- 2) До виконання полірувальних робіт із абразивним інструментом допускаються лише ті особи, що досягли 18-річного віку, пройшли відповідну

виробничу практику і можуть працювати з суворим дотриманням діючих санітарних норм, а також правил та норм охорони праці, відповідно до ДНАОП 0.03-3.29-94 «Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх».

3) Враховуючи те, що обробка вручну однієї лопатки ГТД може виконуватись протягом 3 – 6 годин, в залежності від дефектів її поверхні, після виконання полірування 2-х лопаток для робочого передбачена перерва, що становить 8 – 10 хвилин.

4) Для запобігання електротравм, внаслідок ураження електричним струмом під час роботи передбачені:

- проведення навчання з правил електробезпеки, атестації на відповідну групу електробезпеки та отриманням посвідчення встановленого зразку, можливість проведення періодичного контролю ізоляції для забезпечення захисту від замикання не рідше одного разу на рік, згідно з ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Вимоги, до захисних заходів від ураження електричним струмом. Електробезпека в будівлях і спорудах»;

- наявність захисного заземлення електроустановки – ефективний спосіб захисту від ураження електричним струмом на виробництві.

Призначенням захисного заземлення є усунення небезпеки ураження струмом, у випадку дотику до металевих, не струмоведучих частин електрообладнання, які опинилися під напругою.

Захисне заземлення рекомендується в приміщенні без підвищеної небезпеки (з нормальною температурою повітря, сухих, з неструмопровідними підлогами) – при номінальній напрузі 380 В і вище змінного струму, відповідно до правил будови електроустановок (ПБЕ).

Згідно з вимогами ПБЕ та ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила влаштування електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» допустимий

загальний опір усіх заземлюючих пристроїв, що споруджені в мережах напругою 380/220 В, повинен бути не більше 4 Ом.

5) Виникнення процесу термоокислювальної деструкції, що виникає під час роботи з полімерно-абразивним інструментом, під час якої відбувається викид шкідливих речовин у навколишній повітряний простір.

Для уникнення цієї небезпеки, під час виконання обробки на верстаті з ЧПК (II метод) конструктивно передбачено встановлення захисного щитка на робочому місці, згідно з ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож».

6) Для запобігання травми очей під час полірування лопатки кожним з методів, робітник повинен працювати у спеціальних захисних окулярах, що захищають від пилу і механічних ушкоджень, згідно з ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація».

6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

1) Освітлення робочої зони.

Недостатня освітленість може спричинити короткозорість, так як під час роботи необхідно розглядати оброблювану деталь та вимірювальний інструмент, надмірно наближаючи їх до очей або спричинити травмування робочого стружкою, оброблюваною деталлю, так як змушує верстатника близько нахилитися до деталі в процесі обробки та до частин верстата, що обертаються та переміщуються під час його налаштування [16].

Тому, для уникнення небезпек, кожне приміщення цеху і робочі місця мають забезпечуватись природним і штучним освітленням.

Природне освітлення у виробничих цехах має відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Вікна, розташовані із сонячного боку мають бути оснащені пристроями, які б забезпечували захист від прямих сонячних променів; забороняється захаращувати вікна стелажми або обладнанням. Для забезпечення безпеки під час очищення вікон та ліхтарів, слід використовувати спеціальні пристрої (драбини, помости).

Під час обробки деталі зорові роботи високої точності, тому розряд роботи – III б, що визначається Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5–28:2018 «Природне і штучне освітлення».

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт I–III розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення.

Рівень нормованої освітленості (E_n) залежить від розряду зорових робіт, фону, контрасту об'єкта з фоном, системи освітлення.

Освітленість E_n становить 200 лк, згідно з нормами ДБН В.2.5–28:2018 «Природне і штучне освітлення».

У якості джерел штучного освітлення, в приміщенні цеху застосуємо газорозрядні лампи високого тиску з дуговим розрядом типу ДРЛ потужністю 250 Вт, відповідно до вимог ДБН В.2.5–28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Газорозрядні лампи використовують при виконанні точних робіт; для створення особливо прийнятних умов для зорових робіт; при роботах з підвищеними вимогами до розрізнення кольору поверхонь; в приміщеннях, де постійно перебувають люди, а рівень природного освітлення є недостатнім.

Основною перевагою ламп ДРЛ та ДРИ є світловіддача до 100 лм/Вт та термін експлуатації до 15000 годин.

З урахуванням обраних ламп та умов навколишнього середовища тип світильників – РСП (ступінь захисту $IP=54$; коефіцієнт світильника $L/h=1,4$), що використовуються в ливарних, механічних, інструментальних, складальних цехах.

2) Мікрокліматичні умови.

Для забезпечення сприятливих параметрів повітряного середовища, згідно з нормами ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», в приміщеннях цеху, доцільно використовувати місцеву витяжну механічну вентиляцію, що ефективно забезпечує вловлювання шкідливих виділень безпосередньо в місцях їх виділення та запобігає поширенню цих речовин в приміщенні.

Місцеву вентиляцію застосовують при виконанні технологічних процесів, обробці металів різанням, поліруванні деталей, зварювальних, ливарних роботах.

Розрахунок повітрообміну за умови виділення шкідливих речовин (парів, пилу), що надходять у робочу зону, з метою розбавлення їх до граничнодопустимих концентрацій.

Визначення кількості приточного (видаляемого) повітря [17], за допомогою формули (6.1):

$$L_v = \frac{G_{vp}}{q_{пдк} - q_{п}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.1)$$

де L_v – кількість видаляемого повітря, $\text{м}^3/\text{с}$.

G_{vp} – кількість шкідливих речовин, що виділяються у виробничих приміщеннях, $\text{мг}/\text{с}$;

$q_{пдк}$ – граничнодопустима концентрація шкідливих речовин в приміщенні, $\text{мг}/\text{м}^3$.

$q_{п}$ – концентрація шкідливих речовин в зовнішньому повітрі, що подається в приміщення і дорівнює:

$$q_{п} = 0,3 q_{пдк}, \text{ мг}/\text{м}^3.$$

Значення кількості приточного або видаляемого повітря (L_v) для кожного варіанту обробки буде різним.

Для першого методу (обробка абразивними кругами), кількість пилу, що виділяється у виробничих приміщеннях – $G_{вр}=110$ мг/с.

Кругова віброустановка RÖSLER не продукує пил, обробка в цьому випадку «мокра», пил відразу потрапляє до ЗОТС, виводиться з робочого резервуара, і на герметично закритій центрифугі ЗОТС очищується від цих забруднень і знову подається до зони обробки.

Для другого методу, пил може з'являтися з дрібної стружки та відходів від волокон полімерно-абразивних щіток внаслідок тривалої роботи на верстаті, кількість пилу – $G_{вр}=90$ мг/с.

Пора року не має значення, так як цехи, в яких виконується обробка – відповідальні, тому в них обов'язково дотримуються температурного режиму. Температура оптимальна (кімнатна) – 20°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), досягається подвійними дверима (з ефектом «шлюз», з вбудованими кондиціонерами) та термоізованими вікнами-пакетниками і через це не змінюється.

Показник гранично-допустимої концентрації пилу, з домішкою діоксиду кремнію від 2 до 10% – $q_{пдк}=4$ мг/м³ (значення обираємо згідно з [18]).

$$q_{п}=1,2 \text{ мг/м}^3$$

Для I варіанту.

$$L_{в1}=110/(4 - 1,2)=39,3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для II варіанту:

$$L_{в2}=90/(4 - 1,2)=32,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Саме місцева штучна вентиляція ефективно всмоктує відходи від шліфувальних робіт (залишки абразивних інструментів та зв'язки) та грає роль у попередженні такої специфічної хвороби, як пневмокніоз, що може виникнути внаслідок появи в повітрі шкідливих частинок шліфувального пилу.

Переваги і недоліки штучної місцевої вентиляції.

Серед переваг можна назвати наступні:

- на відміну від природної, штучна вентиляція дає можливість очищувати повітря перед його викидом в атмосферу, вловлювати шкідливі речовини безпосередньо біля місць їх утворення, а також обробляти припливне повітря (очищувати, підігрівати, зволожувати);
- працездатність штучної вентиляції не залежить від пори року і кліматичних умов;
- при механічній вентиляції приміщення додатково можливі зволоження, очищення, нагрівання чи охолодження повітря – великий спектр виконуваних функцій.

Серед недоліків, що має місцева вентиляція існують наступні:

- більш дорогий варіант вентиляції, у порівнянні з природною;
- велика енергоємність;
- штучна вентиляція частіше потребує огляду і ремонту [17].

Не дивлячись на недоліки, місцева механічна вентиляція забезпечує вловлювання шкідливих речовин в місцях їх виділення та має достатній спектр функціональності для створення чистоти повітряного середовища в приміщенні цеху.

3) Виробничі вібрації , що виникають в результаті обробки на віброабразивній круговій установці (І метод).

За способом передачі на тіло людини розрізняють загальну та локальну вібрацію.

Локальна вібрація може передаватись через руки робочого, при контакті з ручним механізованим інструментом, органами керування обладнанням, а також обладнання, що вібрує під час роботи, так як в цьому закладений принцип віброполірування деталей.

Тривалий вплив вібрації високих рівнів, під час віброобробки деталей круговою установкою RÖSLER, на організм людини може призвести до розвитку передчасної втоми, зниження продуктивності праці, зростання

захворюваності та нерідко виникнення професійної патології — вібраційної хвороби.

Локальна вібрація здатна викликати спазми судин кисті рук, передпліч, порушуючи постачання кінцівок кров'ю. Одночасно коливання діють на нервові закінчення, м'язові та кісткові тканини, викликають зниження шкірної чутливості, відкладення солей у суглобах пальців, деформуючи та зменшуючи рухливість суглобів.

Сумарний час дії вібрації за зміну становить 5,5 годин, що має переважне значення впливу на організм людини.

У працівників, що контактують з виробничими вібраціями під час робочої зміни, при середньо частотному спектрі вібрацій захворювання розвивається через 8 – 10 років роботи [19].

Тому для попередження несприятливого впливу виробничих вібрацій, передбачені наступні організаційно-технічні заходи, відповідно до норм ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»:

- зменшення вібрації на шляху розповсюдження засобами віброізоляції та вібропоглинання, наприклад, за рахунок застосування спеціальних сидінь, майданчиків з пасивною пружинною ізоляцією, гумових та вібропоглинаючих матеріалів;

- своєчасне проведення планового та попереджувального ремонту машин з обов'язковим післяремонтним контролем вібраційних характеристик, використання машин відповідно до їх призначення, передбаченого нормативно-технічною документацією;

- своєчасне проведення ремонту профілів шляхів та поверхонь для переміщення машин, їх покриттів, кріплень підтримуючих конструкцій, що впливають на вібраційні характеристики машин.

Комплекс лікувально-профілактичних заходів щодо шкідливого впливу виробничих вібрацій містить:

- професійні і профілактичні огляди;
- режим праці;
- лікувальна гімнастика та масаж рук;
- використання засобів індивідуального захисту.

До роботи операторами машин допускаються особи, які досягли 18 років та пройшли попередній медичний огляд, мають відповідну кваліфікацію, склали технічний мінімум правил охорони праці та ознайомлені з характером впливу вібрації на організм.

Для профілактичного лікування та відпочинку працюючих, в тому числі і зайнятих у вібронебезпечних професіях, на підприємствах повинні бути організовані профілакторії, кабінети психологічного розвантаження і кімнати, де працюючи обов'язково проводять масаж рук потоком теплого повітря, мікро-масаж на спеціальному обладнанні.

З метою профілактики шкідливого впливу загальної та локальної вібрації працюючі повинні користуватися засобами індивідуального захисту відповідно до ДСТУ 7239:2011 «Засоби індивідуального захисту. Система стандартів безпеки праці».

4) Рівень шуму в робочій зоні.

Відповідно до норм ДСН 3.3.6.037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», у виробничому цеху, де відбувається віброобробка, за часовими характеристиками шум постійний, оскільки рівень звуку за 8-годинний робочий день змінюється в часі не більше ніж на 5 дБА.

Рівень постійного шуму становить 80 дБа у виробничому цеху за умови постійної роботи віброабразивної установки RÖSLER, що оброблює лопатки ГТД.

Для зниження рівня виробничого шуму у приміщенні доцільно застосовувати наступні заходи, відповідно до вимог ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму»:

- забезпечення на промислових підприємств, в приміщеннях, де перебувають люди, шумового режиму, що відповідає санітарно-гігієнічним нормам, повинно здійснюватися шляхом застосування об'ємно-планувальних, конструктивних, технічних рішень та комплексу будівельно-акустичних заходів як для об'єктів, що є джерелами шуму, так і для об'єктів, що потребують захисту від шуму;
- застосування вібропоглинальних покриттів на тонкі вібруючі поверхні технологічного обладнання;
- застосування вібропоглинальних і звуко ізолювальних покриттів шумних повітропроводів і трубопроводів, що проходять через мал шумні приміщення;
- застосування внутрішніх і зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель (перекрыттів, перегородок, дверей, вікон, технологічних прорізів) з достатньою звукоізоляцією, що забезпечує необхідне зниження шуму, що проникає крізь огорожі;
- індивідуальний захист органів слуху здійснюється за допомогою навушників, м'яких шоломів, які знижують рівень звукового тиску на 40...50 дБ.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки визначаються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Для попередження пожежі персонал ділянки повинен виконувати наступні правила:

- суворо дотримуватися правил пожежної безпеки, порядку та чистоти на робочому місці;

- слідкувати за справністю системи електроживлення;
- обов'язково проходити інструктажі пожежної безпеки та правилам безпечної роботи;
- не загороджувати проїзди та проходи, а також підступи до засобів пожежогасіння;
- паління дозволяється лише у спеціально відведених місцях.

Клас можливої пожежі у виробничому цеху – В, що супроводжується горінням рідин або твердих речовин, відповідно до ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)», так як під час віброобробки застосовують масло «АЗМОЛ» в якості ЗОТС, що здатне спричинити пожежу.

Категорія виробничого цеху за вибухопожежною та пожежною небезпекою – Б, у відповідності до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».

Оскільки приміщення виробничого цеху належить до категорії «Б» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

Евакуація людей у разі пожежі повинна передбачатися по шляхах евакуації через евакуаційні виходи, евакуаційні сходи та сходові клітки, відповідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Евакуаційні сходи повинні бути відкритими, без огорожувальних стін; пожежні драбини, що мають висоту не більше ніж 2,5 м від рівня землі та площадку перед виходом на покрівлю.

Приміщення, що розділені на частини перегородками, або протилежними завісами, повинні мати окремі евакуаційні виходи з кожної частини.

Не допускається розміщувати приміщення категорій «А» та «Б» за пожежною небезпекою безпосередньо над або під приміщеннями, призначеними для одночасного перебування понад 50 осіб.

Евакуаційні виходи, шляхи евакуації повинні мати позначення з використанням знаків безпеки, згідно з ДСТУ ISO 6309.

Приміщення цеху повинні бути оснащені системами пожежної сигналізації, що виявляють ознаки пожежі на ранній стадії та передають тривожні сповіщення до пристроїв передавання пожежної тривоги для вжиття необхідних заходів (евакуювання людей, виклик пожежно-рятувальних підрозділів, запуск протидимних систем пожежогасіння), згідно з вимогами ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».

Відповідно до категорії виробничого цеху за пожежною небезпекою (Б), передбачена мінімальна кількість порошкових вогнегасників – 3, що мають вагу 8 кг, відповідають вимогам експлуатаційної документації та пройшли технічне обслуговування.

Переносні вогнегасники мають розміщувати шляхом навішування за допомогою кронштейнів на вертикальні конструкції на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для їх повного відчинення, або встановлюють у пожежні шафи пожежних кран-комплектів, відповідно до «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25.

6.5 Паніка під час надзвичайних ситуацій

Надзвичайна ситуація –це спеціальний тимчасовий правовий режим, що виникає через порушення нормальних умов життя і діяльності людей через аварію, катастрофу, стихійне лихо чи епідемію.

Надзвичайна ситуація супроводжується порушенням нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвело (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності [20].

Тому саме від думок про надзвичайну ситуацію, або реальну загрозу насунення небезпечної ситуації, у людини розвивається почуття емоційного й фізичного напруження, нездатність адекватно оцінювати ситуацію й приймати рішення, депресія, паніка, страх, шок. Крім того, психічні атаки, емоційний вплив на свідомість не тільки не стабілізують ситуацію, але й ускладнюють її.

Значно підвищує вразливість людини до небезпеки емоційна невідносна неврівноваженість, нездатність до швидкого розподілу уваги й виокремлення головного об'єкта небезпеки серед великої кількості інших, недостатня витримка й надмірна (завелика чи мізерна) схильність до ризику.

Найбільш відомі реакції на екстремальну ситуацію, це паніка, шок та посттравматичний стресовий розлад.

Слід зазначити, що паніка цілком природня реакція людини у відповідь на загрози життю, однак виникнення цього стану і затяжний панічний стан може заважати раціонально приймати рішення, більше того – призвести до серйозних психічних порушень.

Важливо під час виникнення надзвичайних ситуацій зводити панічні настрої до мінімуму. Паніку характеризує поява страху, без видимої на те причини .

Паніка — це тривожний стан, що настає раптово і триває від кількох хвилин до години.

Людина в такому панічному стані не може сказати, чого саме вона боїться, їй складно сконцентрувати увагу і взяти себе в руки. Часто виникає прискорене серцебиття, пульсація в животі, задишка і пітливість.

Людина прагне піти звідти, де її застав напад, і, поглинена думками про свій стан, намагається допомогти. Після виникнення панічного стану, зазвичай, виникає пригнічений стан.

Симптоми панічного стану:

- прискорене серцебиття;
- надмірне потовиділення;
- підняття артеріального тиску;
- тремтіння тіла;
- озноб;
- біль у грудях (людині може здатися, що у неї серцевий напад);
- задишка та відчуття задухи;
- напад сильної нудоти;
- біль у животі;
- запаморочення аж до втрати свідомості;
- відчуття того, що людина помирає (у момент сильної панічної

атаки, відчуття, що життя добігає кінця) [21].

Форми прояву паніки:

1) масова втеча – це неусвідомлена втеча людей від уявної чи реальної небезпеки;

2) панічні настрої – це психологічні стани окремих осіб або цілих класів, при якому змінюється співвідношення між орієнтовним й регулювальним компонентами, емоційним і раціональним. Поведінка погано передбачувана;

3) економічна паніка найчастіше зустрічається на банківських біржах, через що спостерігається фінансова криза, при інфляції, підвищення цін, або неймовірний наплив вкладників.

Причини, що викликають паніку, заведено ділити на три групи: фізіологічні, психологічні та соціально-психологічні.

До фізіологічних причин можна віднести велику фізичну втому, тривале безсоння, сильне психічне потрясіння, депресію, голод, сп'яніння, тощо.

Серед психологічних причин можна назвати усвідомлення безсилля перед невідвратною небезпекою, почуття ізоляції та раптовий страх, тощо.

Серед соціально-психологічних причин – надлишок інформації, що нагнітає або, навпаки, дефіцит необхідної інформації.

Основні способи запобігання паніки:

- 1) на першому етапі – гучне і владне переконання;
- 2) на другому – планування і регулювання наказами несхильних до панічного стану особистостей;
- 3) на третьому – застосування сильного подразника (наприклад, повідомлення через гучномовець, щодо припинення паніки з подальшими вказівками).

Основні дії для опанування панічного стану:

1. Аналізуйте ситуації. Зосередьтеся на аналізі навколишніх подій і не дозволяйте власним думкам рухатися у вільному напрямку (без самоконтролю) для погіршення власного стану

2. Намагайтеся контролювати ситуацію. У надзвичайних ситуаціях важливо контролювати процес, ваші дії мають бути усвідомлені.

3. Перш за все контролюйте своє дихання, особливо в тих обставинах, де ви розгублені. Дихайте повільно, роблячи глибокий вдих і видих, якщо зручніше рахувати при цьому. Таким чином ви зможете скоріше заспокоїтись.

4. Абстрагування від ситуації. Спробуйте абстрагуватися, направте свої думки вгору й уявіть, що спостерігаєте за ситуацією з висоти. Це допоможе швидше вийти зі стану паніки [22].

Таким чином, паніка та тривожний стан – ті складові стани, що, нажаль, виникають в житті кожної людини, особливо коли розмова йде про надзвичайну ситуацію.

Важливо вміти правильно реагувати на появу цього стану, вміти упоратись з ним, при цьому не нехтуючи допомогою оточуючих людей і, звичайно ж, протягнути руку допомоги іншим. Тому що саме психологічні резерви людини є вирішальними для виживання в надзвичайній ситуації в конкретний момент часу.

В данному розділі було розглянуто та проаналізовано можливі небезпеки, що можуть виникнути в процесі обробки деталі, та запропоновані заходи, для уникнення або зменшення їх шкідливої дії на організм людини, з метою забезпечення оптимальних умов праці.

7 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що:

- 1) запропоновані методи фінішної обробки та визначені режими можна використовувати в реальному виробництві для інших дрібногабаритних деталей ГТД та інших дрібних виробів загального машинобудування;
- 2) варіанти можна застосовувати, обираючи їх в залежності від масштабів виробництва. Цю технологію вибору можна використовувати під час розробки технологічних процесів для існуючого виробництва та на етапі підготовки нового виробництва.

ВИСНОВКИ

На основі попередніх результатів фінішної обробки дрібногабаритних лопаток ГТД можна зробити наступні висновки:

- обидва варіанти забезпечують необхідну точність та властивості якості поверхні і поверхневого шару лопаток;
- при невеликих масштабах виробництва (на прикладі дрібногабаритних лопаток ГТД для річної програми випуску $N < 4370$ шт.) ручне полірування та віброабразивна обробка забезпечують необхідні вимоги креслення лопатки щодо якості і точності після 3...5 годин обробки, тобто перший варіант є більш економічним варіантом;
- із збільшенням масштабів виробництва, альтернативою може бути комплексна обробка дисковою та кінцевою полімерно-абразивними щітками на верстаті з ЧПК.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. https://ozlib.com/990055/tehnika/masshtab_proizvodstva_vliyanie_tehnologicheskii_protsess
2. <https://hornmaster.ru/oborudovanie/galtovochnaya-mashina.html>
3. <http://www.kromas.by/vibromashini-lotk>
4. <https://bizorg.su/galtovochnaya-mashina-r/p18430839-galtovka-rotornaya-otec-eco-1kh9-dry-sukhaya>
5. <https://prom.ua/p4093083-mashina-krugova-vibrogaltivka.html>
6. <https://stankecom.ru/catalog/krugovie-vibroustanovki>
7. <http://finishing2007.narod.ru/18.htm>
8. <https://sjt-k.ru/product/napolnitel-dlya-galtovki-otec-oreh-h1-100-v0010/>
9. https://www.polystar.com.ua/catalog/galtovochnoe_oborudovanie/napolniteli_pasty_kompaundy_shampuni_erba/napolnitel_plastik_zheltyy_sredniy_pl_m_10_piramida_10kh10_mm_analog_px10_1_kg/
10. <https://cyberleninka.ru/article/n/finishnaya-obrabotka-tonkostennyh-i-slozhnoprofilnyh-detaley-soobschenie-2-schetochnye-instrumenty/viewer>
11. <https://proinstrumentinfo.ru/kratsovka-dlya-ushm-dreli-125-diskovaya-chashka/>
12. https://osborn-brushes.com.ua/downloads/OSBORN_novofil_RU.pdf
13. <https://prom.ua/p1370125317-schetka-polimerno-abrazivnaya.html>
14. Степанов Д.М. Технологічні особливості забезпечення якості та продуктивності обробки складнопрофільних і тонкостінних деталей полімерно-абразивними інструментами : дис. ..., канд. техн. наук : 05.02.08. Запоріжжя, 2019. 222 с.
15. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальності Технологія машинобудування усіх форм навчання. / Склали: Яценко В.К.,

Ципак В.І. та інші – Запоріжжя, ЗДТУ, 2000. 245с.

16. Пістун, І.П. Охорона праці в галузі машинобудування [Текст] / Р.Є. Стець., І.О. Трунова. – Суми: Університетська книга, 2011.-557с.

17. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Вид. 3 – перероб. і доп. – Львів: УАД, 2006. – 336 с.

18. ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

19. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов/ Е. Я. Юдин, С. В. Белов, С. К. Баланцев и др.; Под ред. Е. Я. Юдина, С. В. Белова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.

20. Торбіч А.В. Що означає надзвичайна ситуація. Відповіді на поширені запитання та пояснення юриста. – Київ –2020р.

21. Оліярник М. Реакція людини на екстремальну ситуацію. Як зберегти спокій і не впасти у відчай. 2022рік.

URL:<https://zaborona.com/yak-zberegty-spokij-i-ne-vpasty-u-vidchaj-porady-ekspertiv/>

22. Куріцина А. Психологічні аспекти запобігання панічних станів у натовпі. 2021 рік.

URL: <https://vinps.vn.ua/?p=1900>

Додаток А
Протокол вимірювань

Вимірювання в перерізах профілю пера відповідних розмірів хвостовика лопаток після обробки по третьому режиму віброполірування представлені в таблиці А.1. У верхній частині таблиці вказані розміри за вимогами робочого креслення.

Таблиця А.1 – Розміри в перерізах вихідних і полірувальних лопаток, отримані в бюро контролю ДП «Івченко- Прогрес».

Геометрические размеры профиля лопатки по ТТ чертежа										
Размер	Допуск на размер	A ₁ -A ₁	A ₅ -A ₅	A ₈ -A ₈						
C _{max}	-0,16	1,73	1,56	1,35						
C ₁	-0,12	1,44	1,30	1,13						
C ₂	-0,12	0,83	0,75	0,65						
L	±0,2	19,8	19,8	19,8						
П	-0,04	4,4								
		Лопатка № 2-2		Лопатка № 1-2	Лопатка № 3-1					
После абразивной обработки										
Размер	Отклоне-ние	A ₁ -A ₁	A ₅ -A ₅	A ₈ -A ₈	A ₁ -A ₁	A ₅ -A ₅	A ₈ -A ₈	A ₁ -A ₁	A ₅ -A ₅	A ₈ -A ₈
C _{max}		1,70	1,54	1,34	1,69	1,52	1,31	1,67	1,53	1,32
C ₁		1,41	1,28	1,09	1,40	1,28	1,08	1,40	1,28	1,11
C ₂		0,79	0,73	0,63	0,83	0,75	0,61	0,81	0,74	0,60
L		19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,7	19,7
П	-0,04	4,36			4,36			4,36		
после виброполирования профиля по третьему режиму										
C _{max}		1,67	1,53	1,34	1,65	1,51	1,30	1,67	1,52	1,31
C ₁		1,39	1,28	1,09	1,38	1,28	1,08	1,40	1,26	1,10
C ₂		0,76	0,74	0,63	0,82	0,73	0,63	0,80	0,74	0,62
L		19,8	19,7	19,6	19,8	19,7	19,6	19,8	19,6	19,5
П	-0,035	4,365			4,365			4,365		