

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

Пояснювальна записка

ДО дипломної роботи
(тип кваліфікаційної роботи)
магістра
(освітній ступінь)

на тему «Технологічна підготовка виробництва профільних деталей
літальних апаратів»

XAI.104.163.23O.134.1096559 ПЗ

Виконав: здобувач(ка) 2 курсу групи № 163
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
(код та найменування)

Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-
космічна техніка»
(код та найменування)

Освітня програма «Технології виробництва та
ремонті літальних апаратів»
(найменування)

Трубчанін Юрій Ігорович

(прізвище та ініціали здобувача (ки))

Керівник: Юрій ВОРОБІЙОВ
(ім'я та прізвище)

Рецензент: Юрій ЧОРНИЙ
(ім'я та прізвище)

Харків – 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет _____ літакобудування _____

Кафедра _____ технології виробництва літальних апаратів _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Галузь знань _____ 13 «Механічна інженерія» _____
(код та найменування)

Спеціальність _____ 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» _____
(код та найменування)

Освітня програма _____ «Технології виробництва та ремонту літальних апаратів» _____
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Катерина МАЙОРОВА _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

«_____» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

_____ Трубчанін Юрій Ігорович _____
(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи _____ «Технологічна підготовка виробництва профільних деталей літальних апаратів» _____

керівник кваліфікаційної роботи _____ Воробйов Юрій Анатолійович, д.т.н., професор _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 2036-уч від « 23 » 11 2023 року

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи _____ 15 січня 2024 р. _____

3. Вихідні дані до роботи _____ матеріали наукових статей з експериментальних досліджень електросуперфінішної обробки сфокусованим струмом високоточних деталей авіаційного виробництва та конвергенційної технологія суперфінішного оброблення деталей з наноповірхнями для підвищення ресурсу агрегатів та виробів аерокосмічної і військової галузей.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати) _____ конструкторський розділ: конструктивно-технологічний аналіз, технічні вимоги паливної системи; технологічний розділ: конструктивно-технологічний аналіз типів обробки деталей, конструкції золотникової пари, технологічний аналіз термоімпульсної обробки, геометричні параметри процесу термоімпульсної обробки, детонаційне очищення поверхонь, поліпшення якості поверхні золотника, аналіз технологічності деталі, технологічні розрахунки цеху виробництва золотника; економічний розділ: визначення основних техніко-економічних показників цеху з виготовлення деталі «золотник» _____

5. Перелік графічного матеріалу Складальне креслення золотникової пари, креслення золотника, планування цеху виробництва золотника.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конструкторський розділ	Чумак А.С., доцент каф.103	20.11.2023	15.01.2024
Технологічний розділ	Воробйов Ю.А., професор каф.104	20.11.2023	15.01.2024
Економічний розділ	Воробйов Ю.А., професор каф.104	20.11.2023	15.01.2024
Спеціальний розділ	Воробйов Ю.А., професор каф.104	20.11.2023	15.01.2024

Нормоконтроль _____ « ____ » _____ 20__ р.
(підпис) (ім'я та прізвище)

7. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Конструкторський розділ	15.01.2024	
2	Технологічний розділ	15.01.2024	
3	Економічний розділ	15.01.2024	
4	Спеціальний розділ	15.01.2024	

Здобувач

(підпис)

Трубчанін Ю.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Юрій ВОРОБЙОВ

(ім'я та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Механічні методи обробки деталей	9
1.1.1 Оброблення шабером	10
1.1.2 Крацювання.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.3 Стрічковий метод оброблення	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.4 Магніто-абразивне оброблення	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.5 Екструзія потоком абразиву під тиском.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.6 Піскоструминне оброблення.....	16
1.1.7 Скlostруминне оброблення	18
1.1.8 Струменеве оброблення сухим льодом	18
1.1.9 Галтовка	19
1.1.10 Відцентрово-ротаційна обробка	20
1.1.11 Турбоабразивне оброблення	20
1.2 Хіміко-механічні методи	22
1.3 Хімічні методи.....	24
1.4 Електрохімічні методи.....	26
1.5 Фізичні методи	28
1.6 Методи лазерного оброблення.....	30
1.7 Технічний опис процесу суперфінішування	34
1.7.1 Типи обробки деталей.....	35
1.8 Висновки конструкторського розділу.....	44
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	45
2.1 Дослідження процесу термоімпульсного оброблення елементів деталей з метою забезпечення допустимого рівня ресурсу виробу і підвищення точності формоутворення	46
2.2 Дослідження методу (ЕХО)	55

	5
2.3 Експериментальні дослідження	60
2.4 Висновки технологічного розділу	63
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	64
3.1 Техніко-економічна оцінка результатів досліджень	65
3.2 Визначення повної собівартості одиниці виробу	68
3.3 Висновки економічного розділу	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	7

ВСТУП

Виготовлення високоточних деталей авіаційного виробництва характеризується використанням новітніх технологій та обладнання, а також вагомою трудомісткістю і необхідністю фахівців високої кваліфікації. Велика кількість робіт реалізується вручну та супроводжується контрольними операціями, що виконують окремі спеціалісти з використанням додаткового обладнання. До високоточних деталей авіаційного виробництва відносяться деталі паливної, гідравлічної та пневматичної систем, систем керування та механізації органів управління. Це корпуси, поршні, штоки, золотники, регулятори, крани, з'єднувальні елементи тощо. Враховуючи значну їх кількість на літальному апараті, стає зрозумілим, що технології їх виготовлення з забезпеченням заданої якості суттєво впливають на загальну вартість виробу. Тому актуальним є необхідність удосконалення технологій обробки авіаційного виробництва високоточних деталей. Однак останнім часом зростають вимоги до нових виробів, а іноді при їх проектуванні розробники стикаються з проблемами, коли необхідна геометрична точність перевищує досяжну або економічну точність. Прагнення досягти і реалізувати задані показники якості супроводжуються в результаті великою кількістю використовуваних процесів та контрольних операцій. Так, при виробництві золотників технологічний процес включає кілька сотень операцій, значна частина з яких виконується вручну працівниками високої кваліфікації. Скорочений маршрутний процес виготовлення простого золотника складається з такої послідовності виготовлення: відрізка, токарна обробка, безцентрове шліфування, плоске шліфування, свердління, слюсарна обробка, промивка, контроль, загартовування, контроль, промивка, обробка холодом, отпуск, магнітнопорошковий контроль, термоудар, круглошліфувальна обробка, отпуск, розмагнічування, магнітнопорошковий контроль, промивка ультразвуком, хімічне пасірування, контроль, консервування. Особливістю є використання процесів механічної обробки разом з процесами термічної, електрофізичної та електролітичної дії. При цьому необхідна точність елементів виробу досягається поступово при обробці окремих елементів деталі, що чергується контрольними операціями. Загальна точність виробів відноситься до вищого ступеня точності деталей машинобудування..

1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

1.1 Механічні методи обробки деталей

В даний час в агрегатобудуванні при механічній обробці забезпечується високий рівень автоматизації технологічних процесів шляхом застосування багатоопераційних верстатів з ЧПК. Однак розробка фінішних та очисних технологій, обладнання значно відстає від загального світового рівня. При обробці кромek дуже високий відсоток застосування ручної праці та засоби малої механізації, що не може гарантувати необхідну якість деталей. Нижче наведено технологічні особливості типових методів очищення поверхонь та формування кромek деталей (табл. 1.1). Виходячи з фізико-хімічної дії на матеріали при обробці, існуючі методи можна розділити на п'ять груп, кожна з яких поділяють на підгрупи.

Таблиця 1.1 – Класифікація методів забезпечення промислової чистоти поверхонь та формування кромek деталей

Група	Підгрупа	Метод
Механічні	Слесарні, лезвійні	Ручний, механізований різцевий, фрезерний, свердлильний, щітковий
	Абразивні без Смазочно-охлаждающие технологические средства (далі – СОТС)	Еластичні круги, стрічковий, абразивний, алмазний, магнітно-абразивний, екструзія потоком абразиву під тиском
	Ударні	Піскоструминний, дробоструминний, пневмодроби-струменевий, пневмокульковий, криогенно-дробеструменевий, склоструминний
	Галтовочні без СОТС	Галтувально-абразивний (відцентрово-барабанна, відцентрово-дискова галтування)
	Центробежні без СОТС	Відцентрово-абразивний
	Турбуляційні без СОТС	Турбоабразивний
	Вібраційні без СОТС	Виброабразивний

Група	Підгрупа	Метод
	Робототехнічні ОЦ з ЧПК	Лезовим інструментом, струменем рідини та абразиву, щітками
Хіміко-механічні	Абразивні з СОТС	Еластичними колами із СОТС, стрічковий із СОТС, абразивний із СОТС, алмазний із СОТС, алмазний із СОТС, магнітно-абразивний із СОТС
	Гідродинамічні	Гідроробеструмний, гідропіскострумний, гідрокавітаційно-абразивний
	Галтовочні з СОТС	Галтовочно-абразивний
	Центробіжні з СОТС	Відцентрово-абразивний із СОТС
	Вібраційні з СОТС	Віброабразивний із СОТС
Хімічні	Хімічний	Хімічний із зануренням
	Термохімічний	Термохлорний, термокисневий
	Галтовочно-хімічний	Галтувально-хімічний
	Турбуляційно-хімічний	Турбуляційно-хімічний, турбуляційно-хімікомеханічний
	Віброхімічний	Віброхімічний
Електрохімічні	Електрохімічний з зануренням	Анодний, катодний, реверсивний
	Електрохімічні локальні	Електро-хіміко-механічний, електро-хіміко-гідралічний
	Галтовочно-електрохімічні	Галтувально-електрохімічний, галтувально-електро-хіміко-механічний
	Віброелектрохімічні	Віброелектрохімічний, віброелектро-хіміко-механічний
Фізичні	Ультразвукзві	Ультразвукохімічний, ультразвуковий, ультразвуко-локальний, криогенно-ультразвуковий
	Електроконтактні	Перервний, з попереднім заморожуванням
	Термічні	Плавлення у високотемпературному рідкому та газовому середовищі
	Імпульсні	Вибуховий, електрогідралічний, електроімпульсний, термоенергетичний,

Група	Підгрупа	Метод
		термоімпульсний газовий, термоімпульсний газовий з накладенням електричного поля, термоімпульсний з накладенням механічних впливів на деталі
	Лазерні	Процеси нагрівання, випаровування та абляції матеріалу з утворенням плазми, а також швидке теплове розширення з виникненням ударних хвиль

Механічні методи забезпечують обробку кромок шляхом механічного на оброблювані деталі твердих тіл – інструментів. До них відносяться слюсарні, лезові, абразивні методи, ударні, галтувальні, відцентрові, турбуляційні, вібраційні способи обробки.

Слюсарне оброблення кромок деталей виконується шабером, алмазним олівцем, рашпілем, надфілем або напилком.

1.1.1 Оброблення шабером.

Найбільш поширене оброблення шабером. Шабер за один прохід може видалити з поверхні заготовки тонкий шар металу товщиною не більше 0,7 мм. При середніх зусиллях, що прикладаються до інструменту, товщина стружки, що знімається, становить 0,01 ...0,03 мм. Чим твердіше оброблюваний матеріал і вище вимоги до чистоти обробленої поверхні, тим вужчою повинна бути ріжуча кромка шабера і меншим радіус закруглення. Оскільки шабріння є заключною операцією слюсарної обробки, то якість її виконання необхідно контролювати протягом усього процесу. Головними недоліками слюсарних способів обробки є низька точність та мала продуктивність. Обробка внутрішніх кромок корпусних деталей проводиться спеціальним зенкером, який доводиться вручну під мікроскопом або розгорткою.

1.1.2 Крацювання

Крацювання проводять із застосування щіток: дротяних з крученого пасма, з абразивного нейлону, абразивно-полімерних, алмазно-абразивних, елюсткових та ін. (рис. 1.1).

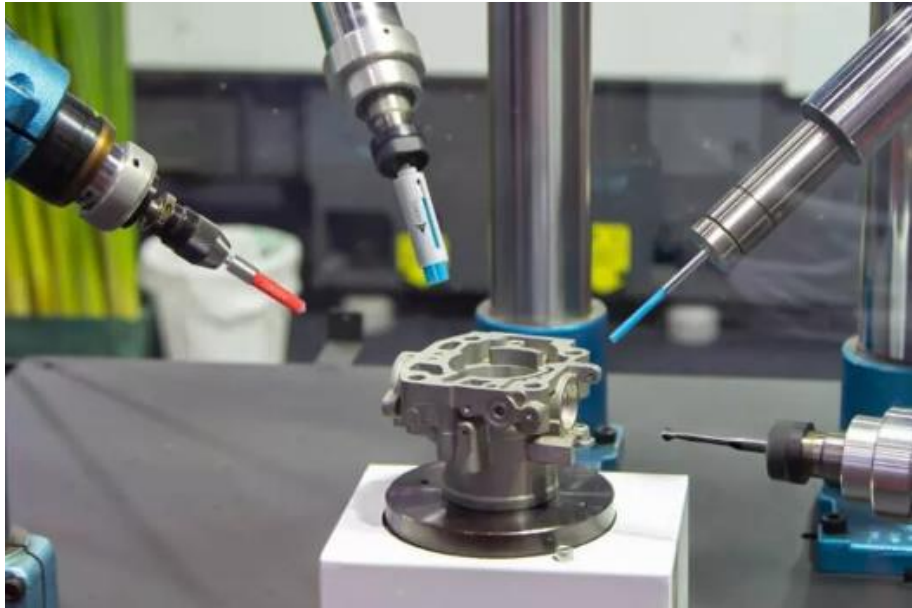


Рисунок 1.1 – Крацювання за допомогою щіток

Застосовується сухе або вологе оброблення при ручному, напівавтоматичному або автоматичному циклі. Використовуються круглі, кільцеві, дискові, циліндричні, торцеві, кінцеві, щітки (рис. 1.2). Основним показником щітки є матеріал та діаметр ворсинок, вільна довжина ворсу, щільність робочої частини, тип щітки, ширина та діаметр, розміри та форма посадкового місця.

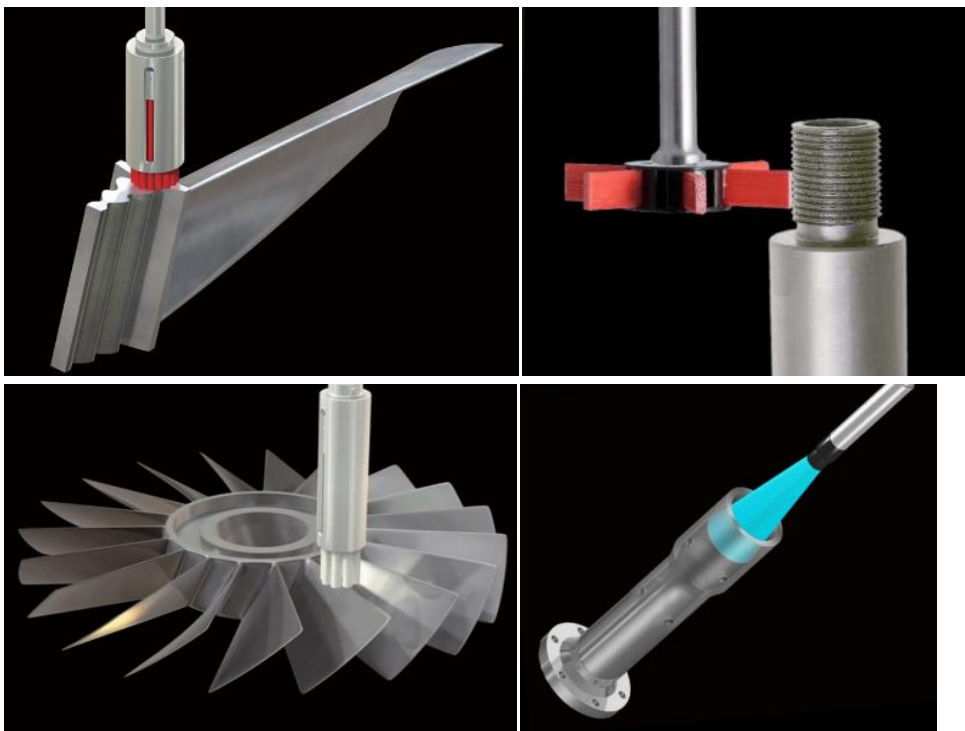


Рисунок 1.2 – Приклади щіток

Крацювання поверхні, у якої Ra лежить у діапазоні 3,2...8,0, призводить до зменшення шорсткості поверхні. Якщо Ra нижче вказаних значень, крацювання може призвести до погіршення якості поверхні.

1.1.3 Стрічковий метод оброблення

Стрічковий метод оброблення (рисунок 1.3) передбачає застосування синтетичної або рослиннотканинної стрічки різної ширини з приклеєними на її одній або двох сторонах зернами абразивних матеріалів. Робоча поверхня стрічки характеризується розмірами абразивних зерен та числом їх на одиниці поверхні. Недолік методу: ведеться обробка лише зовнішніх, доступних обробки стрічкою, поверхонь деталей; змінюється шорсткість поверхні деталі.

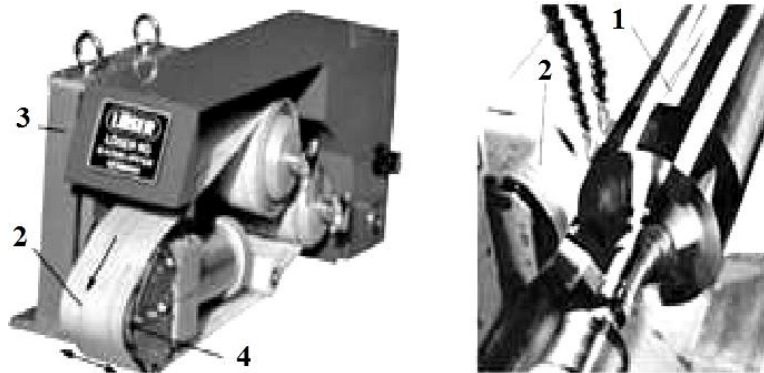


Рисунок 1.3 – Установка (а) і процес стрічкового суперфінішування (б):

1 – деталь; 2 – стрічка; 3 – привід; 4 – притискної ролик

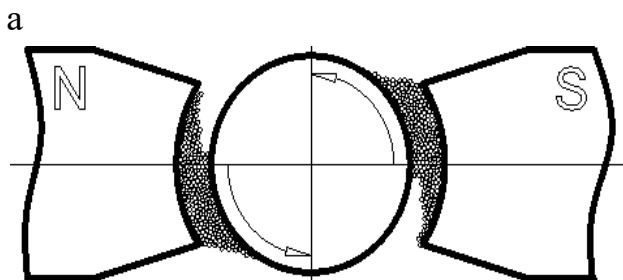
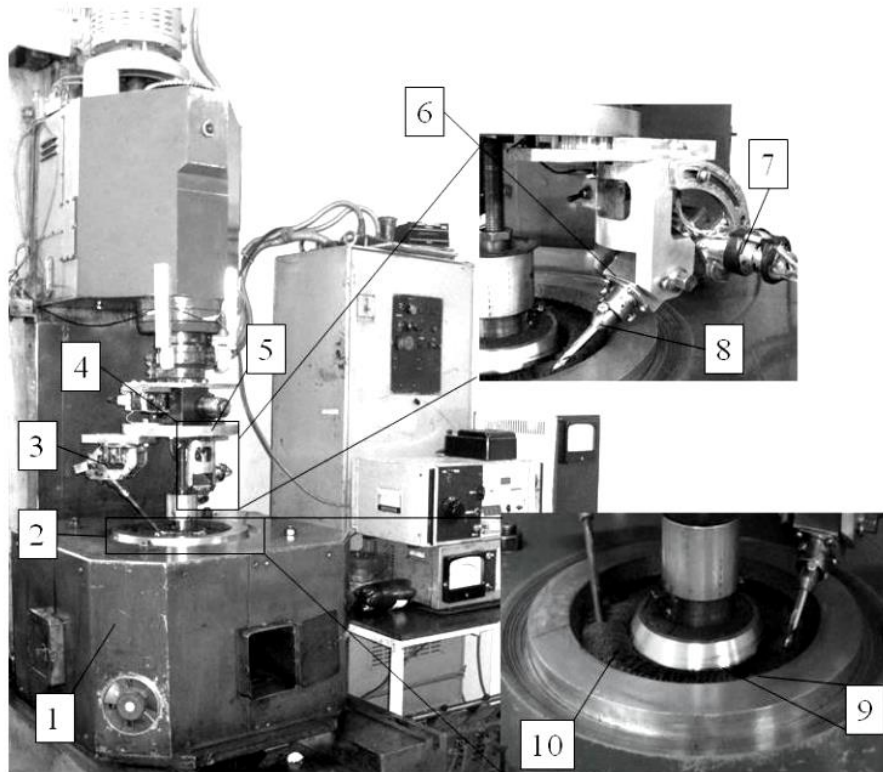
Стрічка 2 переміщається за допомогою приводу 3 з регульованою швидкістю і подачею. Вона проходить через еластичний притискної ролик 4, який здійснює коливальні рухи на поверхні оброблюваної деталі уздовж її осі. При постійній подачі шліфувального кошти по всій поверхні досягається рівномірна і вільна від нальоту фінішна обробка. Полірувальні шліфування проводять з водою або додаванням промивної емульсії.

Поєднання регульованої частоти коливань, правильно обраної подачі стрічки і числа обертів деталі дозволяє отримати бажану якість поверхні. Абразивними стрічками із зерном 0,1-100 мкм можуть бути оброблені деталі різних форм і з різних матеріалів, при цьому забезпечується стабільність відтворення якості поверхні до 0,004 мкм. Перевагою способу є рівномірна вільна від нальоту фінішна обробка по всій поверхні. Підвищується частка несучої поверхні і тим самим зносостійкість, видаляються аморфні відкладення матеріалу, так звана м'яка кірка. На рисунку 1.4 представлені різноманітні зерна скольчаті з розплавів систем Fe-Si-Ti-C, FeSi-C: дробу чавунної колотої (ДЧК),

Полимам-Т, Ферромап, ДЧКн (отримана за попереднім розмолем гранульованих матеріалів), ДЧКб/у (з попереднім використанням на установках струйно-абразивної обробки з наступною магнітною сепарацією). На рисунку 1.5 представлені округлі зерна з розплавів систем Fe-Si-Ti-C, FeSi-C з використанням рідини або газу без наступного розмолу: ПР Р6М5, Полимам-Мсф і Царамам.

1.1.4 Магніто-абразивне оброблення

За допомогою магнітно-абразивного оброблення можна механізувати заокруглення гострих кромки. На рисунку 1.4 наведено верстат для магніто-абразивного оброблення.



б

Рисунок 1.4 – Верстат (а) та схема (б) магнітно-абразивного заокруглення кромки та видалення задирок

Технологічне налагодження до вертикально-фрезерного верстата складається з магнітної системи (1), встановленої на нерухомому горизонтальному робочому столі та універсальній головці (4), яка кріпиться до шпинделя верстата, який має можливість рухатися в вертикальному напрямку. Вісь шпинделя збігається з вертикальною віссю магнітної системи. Магнітна система складається з розгалуженого, симетричного магнітопроводу з коаксіально розташованими полюсними наконечниками (9), які утворюють між полюсами кільцеву робочу зону (2), яка заповнюється магніто-абразивним порошком, який під дією магнітного поля формується в процесі обробки у магніто-абразивний інструмент (10). Середній діаметр кільцевої робочої зони дорівнює 200 мм, її висота – 30 мм, ширина – 35 мм. Така конструкція дає можливість обробляти деталі різної просторової форми та в широких межах їх розмірів. Магнітна індукція у вільному від порошку міжполюсному просторі може регульовано змінюватись у межах 0,02 – 0,5 Тл, що достатньо для використовуваної схеми магніто-абразивного оброблення. Верстат забезпечує можливість обертання шпинделя з реверсом у діапазон частот обертання 0 – 800 об/хв при її плавному регулюванні. заготовку (2) закріплюють на вертикальній пластині (1), введеної міжполюсний простір електромагніта.

1.1.5 Екструзія потоком абразиву під тиском

На рисунку 1.5 представлено схему екструзії потоком абразиву під тиском.

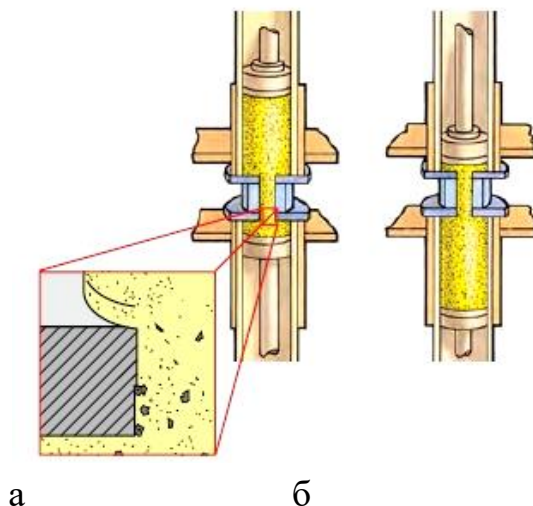


Рисунок 1.5 – Метод екструзії під тиском при безпосередньому обробленні (а) та завершенні обробленні (б)

Процеси, що використовують ефект удару абразивних частинок об оброблювану поверхню заготовлі, здійснюються такими способами:

- удар проводиться власне абразивною часткою (піскоструминна, дробоструминна, обробка кульками);
- удар проводиться абразивно-рідинним струменем (струменева гідроабразивна обробка);
- вплив на поверхню, що обробляється, зважених абразивних частинок, що розпорошуються стисненим повітрям (турбоабразивна обробка) або магнітним полем (магнітоабразивна обробка).

При цьому можна відзначити такі переваги:

- економія часу до 75% порівняно з ручним поліруванням;
- середовище продавлюється від нижнього до верхнього циліндра середовищ у попереминому напрямку через прохід, утворений оброблюваним виробом і пристроєм, що його тримає;
- середовище являє собою пластичний полімер, що містить абразивні зерна;
- консистенція та властивості плинності середовища забезпечують адаптацію до контурів поверхні деталі.

Іншим важливим прикладом застосування екструзії є обробка отвору охолодження авіаційних газотурбінних лопаток (рис. 1.6)



Рисунок 1.6 – Лопатка в перерізі після очищення її отворів

Пневмоструминні установки призначені для зняття шорсткості поверхонь, очищення виробів від бруду, оксидів, видалення старих покриттів, зняття мікрозаусенців, заокруглення гострих кромки, видалення облої та ін.

1.1.6 Піскоструминне оброблення

Піскоструминна (дробеструменева) установка – це апарат для очищення поверхні, видалення задирок і притуплення гострих кромek. Принцип дії піскоструминних апаратів і дробеструминних установок ґрунтується на обробці різних поверхонь абразивними матеріалами, що подаються із сопла під дією повітря. За способом обробки поверхонь піскоструминні апарати та установки бувають двох типів: відкритого та закритого, а за способом подачі абразиву: напірні та інжекторного типу. Піскоструминна обробка, як і інші способи відкритої струминної обробки, супроводжується утворенням пилу, який, як правило, є токсичним. Недолік цього методу полягає в тому, що хмара пилу, що утворилася, осідає на рухомих частинах машини, що призводить до швидкого зносу обладнання. Переваги дробеструминної обробки: відносно висока продуктивність, відсутність пилу (на відміну від піскоструминних апаратів), багаторазове використання дробу. Залежно від способу подачі абразивного матеріалу до сопла струминної головки дробеструминні апарати поділяються на три типи (рис. 1.7): нагнітальної, всмоктувальної та гравітаційної дії.

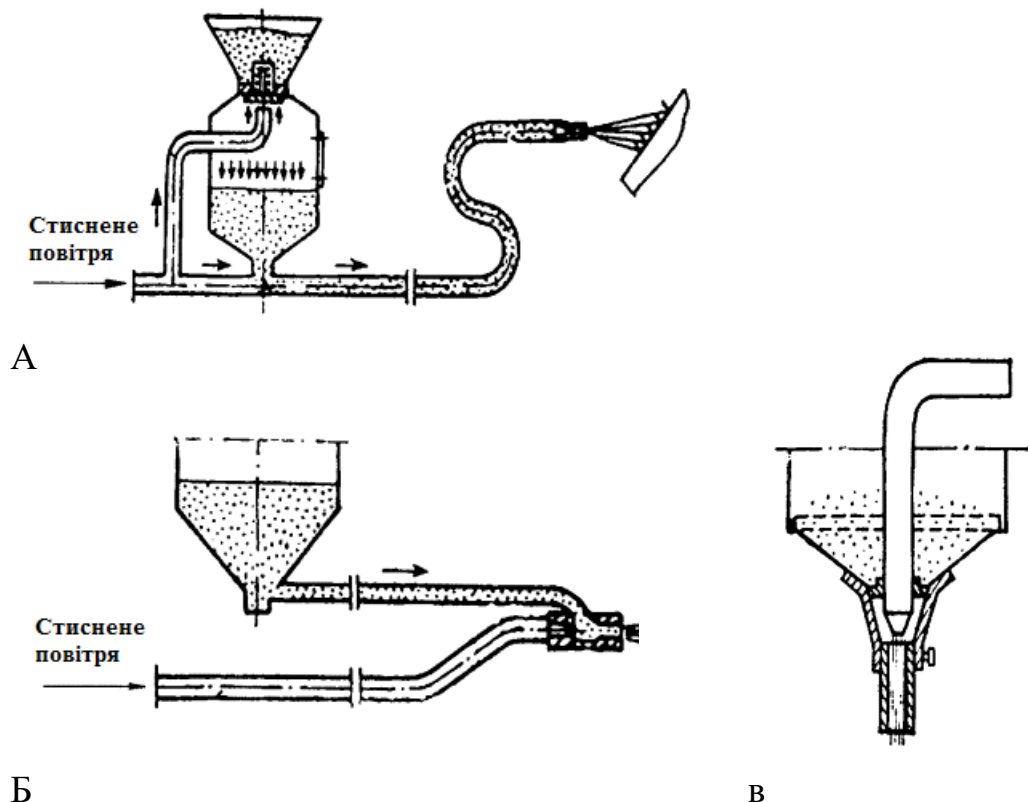


Рисунок 1.7 – Дробеструминні апарати нагнітальної (а), всмоктувальної (б) та гравітаційної (в) дії

В апаратах нагнітальної дії абразивний матеріал або дріб під тиском подаються в камеру для змішування з повітрям, а потім по шлангу через сопло -

на поверхню, що обробляється. Цей спосіб найбільш продуктивний, але вимагає застосування складних апаратів та супроводжується швидким зносом сопла та шлангів.

В апаратах всмоктувальної дії абразивний матеріал з бункера засмоктується струменем стисненого повітря і по шлангу прямує через сопло на оброблювану поверхню. Апарати прості за пристроєм і безвідмовні в роботі, у них менше зношуються сопла та шланги, але їх продуктивність мала. В апаратах гравітаційної (змішаної) дії абразивний матеріал з бункера потрапляє до сопла під дією власної ваги і лише перед самим виходом із сопла змішується з повітрям.

У процесі піскоструминної обробки (рис. 1.8) поверхня формується частинками приблизно рівного розміру, що впроваджуються до неї в довільних місцях і під довільними кутами.



Рис. 1.8 – Поверхня після піскоструминної обробки

При 30% зрізі з поверхні видаляється досить значні площі вершини нерівностей. Розміри та розташування цих вершин носять випадковий характер. Після 70% зрізу на поверхні залишаються лише одиничні западини. Такі мікробадини мають випадкові розміри та координати але горизонталі, проте їхня форма приблизно однакова.

Наведений вид обробки має певний трибологічний потенціал і вимагає додаткового вивчення на предмет широкого застосування як метод фінішної обробки для цілого кола виробів. Гравітаційні дробоструминні апарати прості за пристроєм, безперебійні в роботі, споживають мало стисненого повітря. Найбільш доцільно їх використовувати із нерухомо закріпленими струменевими головками.

1.1.7 Скlostруминне оброблення

Скlostруминне оброблення полягає у бомбардуванні поверхні виробу повітряною сумішшю частинок певного діаметра та фізичних властивостей (рис 1.9).

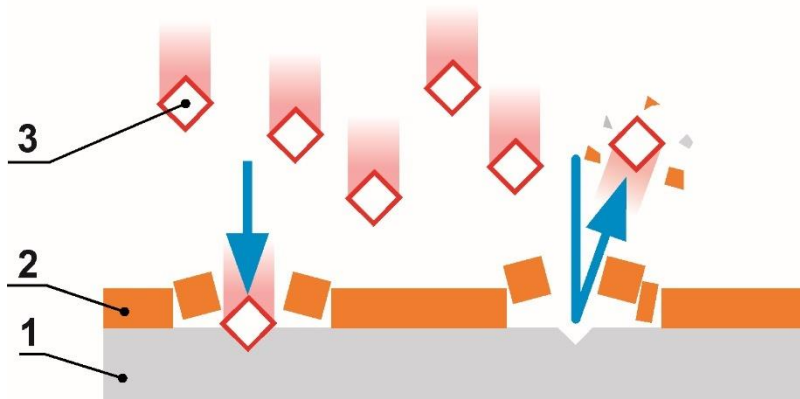


Рисунок 1.9 – Струменева обробка матеріалу (1) з покриттям (2) скляними кульками (3)

При скlostруминній обробці бомбардування поверхні ведеться мільйонами мікроскопічних скляних кульок у потоці стисненого повітря. Кінетична енергія кульок такого розміру невелика, що дозволяє проводити делікатну обробку без пошкодження поверхні та геометрії заготовлі. Скляні кульки виготовлені із загартованого натрієвого скла та не містять свинцю. Вони хімічно інертні, не проникають усередину поверхні, не змінюють і не забруднюють оброблювану поверхню заготовки. Спеціальний склад і пружність роблять ці кульки стійкими до ударів і малозношуваними. Після застосування даного способу обробки деталі виходять чистими, гладкими без залишків частинок абразивного матеріалу з повним збереженням початкових механічних властивостей поверхні, розмірів і геометрії деталі.

1.1.8 Струменеве оброблення сухим льодом

Струменева обробка сухим льодом (CO_2) за своїми характеристиками перевершує такі методи, як піскоструминна обробка, дробоструминна обробка (рис. 1.10). При зіткненні виділяється менше енергії, відсутні пошкодження поверхні та немає вторинних відходів.

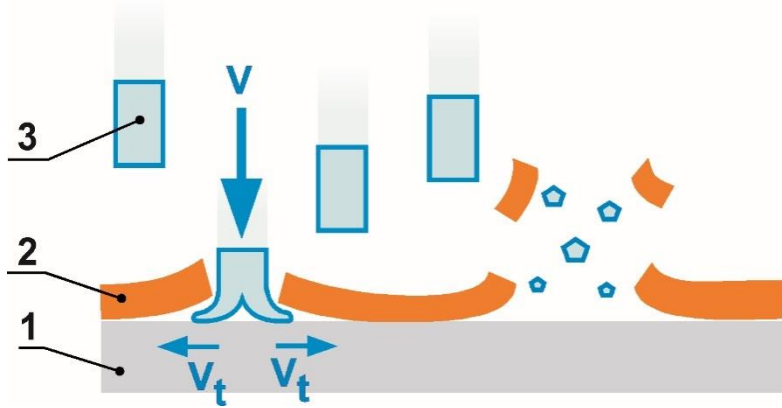


Рис. 1.10 – Струменева обробка матеріалу (1) покриття (2) сухим льодом з часткою CO_2 (3)

1.1.9 Галтовка

Галтовкою можна обробляти одночасно велику кількість деталей, причому вони можуть бути різних розмірів та форм. Галтування здійснюється в барабанах. Для прискорення процесу обробки барабан разом з деталями завантажують абразивні матеріали (суха галтування), а іноді заливають різні розчинники (мокра галтування). Як абразиви застосовується бій шліфувальних кіл або спеціально зроблені з різних матеріалів галтувальні тіла (кульки, конуси, призми, циліндри).

При обертанні барабана дрібні вироби та кульки безперервно перемішуються. При цьому кульки ударами та тертям про виріб згладжують нерівності та шорсткості на його поверхні. Для отримання більш чистої поверхні барабан заливають розчини соди або мила, які змивають бруд і прискорюють процес.

Для кращого перемішування застосовують барабани з ексцентричним обертанням. При віброгалтуванні робочим камерам повідомляють коливання в декількох напрямках із частотою від 15 до 50 Гц, що забезпечує складне переміщення деталей та абразивних частинок. Розміри кульок 3-5 мм (рідко до 8 мм), частота обертання барабана 60-200 об/хв.

Акуратніше оброблення виходить у вібраційних камерах з абразивними наповнювачами. На відміну від барабанів, тонкостінні та тендітні деталі обробляються тут без пошкоджень. Тонкостінні вироби з сильно виступаючими елементами не рекомендується обробляти галтуванням через можливі пошкодження.

1.1.10 Відцентрово-ротаційна обробка

Обробка здійснюється за рахунок відносного переміщення та взаємодії робочого середовища з оброблюваними деталями для інтенсивного знімання матеріалу в процесі їх перемішування, зіткнення та відносного тертя. Сутність відцентрово-ротаційної абразивної обробки відбито на рисунку 1.11.

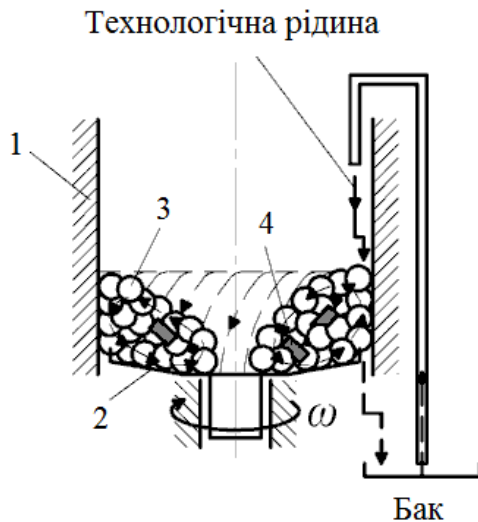


Рисунок 1.11 – Схема відцентрово-ротаційної обробки

У робочу камеру завантажують обробне середовище 3 і оброблювані деталі 4 і приводять у обертальний рух навколо вертикальної осі таким чином, що вся маса завантаження набуває форми тора. Тороїдально-гвинтовий потік забезпечується конструкцією робочої камери, утвореної нерухомою обічайкою 1 і примикаючим до неї конічним дном 2, виконаним у вигляді ротора з можливістю обертання навколо осі власної на підшипникових опорах. Для зменшення зношування внутрішні поверхні робочої камери покривають зносостійким матеріалом. Найчастіше використовуються гумові чи поліуретанові покриття. Обертання дна зазвичай забезпечується реверсивним електродвигуном або гідродвигуном. Всередину камери під час обробки подають СОТС.

1.1.11 Турбоабразивне оброблення

Турбоабразивна обробка призначена для механізації та автоматизації технологічних процесів полірування заготовок складної форми, зняття задирок і заокруглення гострих кромek, що утворюються після різних операцій обробки різанням, підготовки заготовок під покриття, видалення окалини, нагару тощо. Спосіб заснований на використанні техніки псевдозрідження сипких і полягає у створенні абразивного киплячого (псевдозрідженого) шару, в який занурюють

оброблювану заготовлю, задаючи в залежності від її форми різні види руху (обертальний, планетарний та ін).

Киплячий шар створюється в такий спосіб. У ємність (4), дном якої служить газорозподільні грати (5), насипають шар шліфувального зерна (1), потім через розподільну решітку подають знизу вгору потік повітря (рис. 1.12).

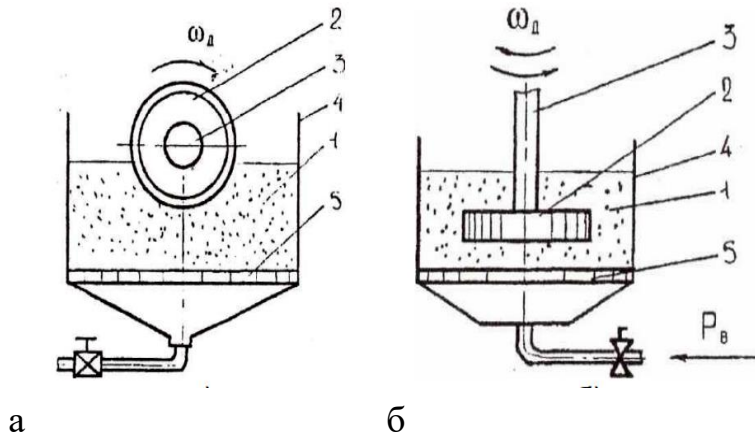


Рисунок 1.12 – Схеми турбоабразивної обробки при односторонньому обертанні деталі (а) та реверсивному обертанні деталі (б)

Відбувається врівноваження твердих абразивних частинок аеродинамічний тиск, при цьому шар набуває властивостей рідини, стає в'язким і текучим.

Процес обробки відбувається за рахунок контактної взаємодії абразивних частинок із поверхнею деталі (2). Для обробки використовується шліфзерна зернистість від 16 до 40 або їх суміші. Значне збільшення інтенсивності знімання металу досягнуто шляхом повідомлення заготовлі обертального руху навколо власної осі або планетарного (3). В цьому випадку знімання металу в 200-300 разів вище, ніж при нерухомій заготовлі. Оброблення може проводитися при горизонтальному розташуванні шпинделя та односторонньому обертанні деталі (рис. 1.12, а), або при вертикальному положенні шпинделя та реверсивному обертанні деталі (рис. 1.12, б).

Знімання задирок і заокруглення кромek вібраційним методом супроводжується переважно мікрорізанням зі зніманням найдрібніших частинок металу; полірування кромek може здійснюватися як мікрорізання, так і знімання оксидів металу і тонким пластичним деформуванням. Підвищена інтенсивність обробки кромek і задирок пояснюється також зменшенням площі контакту частинок робочого середовища з оброблюваною поверхнею та збільшенням внаслідок цього тиску та глибини впровадження абразивних зерен у матеріал оброблюваної деталі.

Об'ємна вібрація є результатом на систему кількох сил, вектори яких у різних площинах. Кромки округляються тонкою віброобробкою. При тонкій обробці застосовуються керамічні та скляні кульки, абразив на полімерній зв'язці. Водні розчини для обробки можуть включати різні компоненти, які залежать від режиму обробки, металу, що обробляється, та інших параметрів процесу. У загальному випадку до складу включаються активні речовини (кислоти, луки, солі) та поверхнево-активні речовини.

1.2 Хіміко-механічні методи

Хіміко-механічні методи, при яких має місце одночасний механічний вплив інструменту та хімічна дія рідкого середовища. До цих методів належать абразивна, гідродинамічна, галтувальна, відцентрова, турбуляційна та вібраційна обробка із застосуванням СОТС.

Струменева гідроабразивна обробка являє собою процес ударного впливу на оброблювану поверхню високошвидкісного гідроабразивного струменя. Цей струмінь піддається впливу потоку стисненого повітря, який збільшує швидкість суспензії з сопла. У плані абразивної дії струминну гідроабразивну обробку можна розглядати як процес ерозії потоком абразивних частинок оброблюваної поверхні. Через війну такої обробки утворюються поверхні без спрямованих рисок, притаманних лезової обробки матеріалів, тобто. Не створюється спрямована шорсткість. Дія ріжучих кромки абразивних частинок на оброблювану поверхню недовго і має ударний характер.

При високій швидкості струменя суспензії цей спосіб має спільне з піскоструминною обробкою тільки те, що в обох випадках робота з видалення металу проводиться за рахунок кінетичної енергії абразивної частки. Хімічно активні речовини, додані в суспензію, полегшують вплив абразивних частинок на оброблювану поверхню, процес прискорюється і кількість металу, що видаляється, збільшується.

Усі процеси механічної обробки металу супроводжуються розвитком значних зусиль та виділенням у зоні різання великих кількостей тепла, що викликають пластичну деформацію поверхневого шару. При струменевій гідроабразивній обробці температура оброблюваних деталей не змінюється. Мікронагрівання, що викликається відділенням стружки абразивною частинкою, усувається потоком суспензії, що супроводжує цю абразивну частинку.

Однак абразивно-рідинної обробки не піддаються деталі з матеріалів, що легко деформуються в холодному стані, так як вони можуть зазнавати пластичних деформацій. В окремих деталях може бути отримана зміна

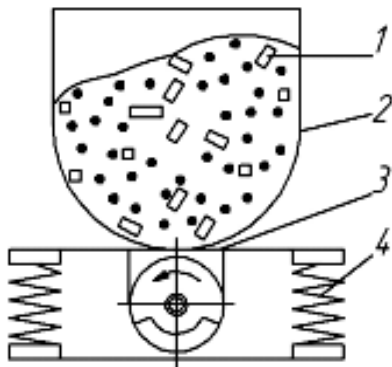
шорсткості та розмірної точності. Ефективність обробки залежить від властивостей матеріалу деталі, твердості, пружності та зернистості матеріалу абразиву, швидкості струменя, кута атаки струменя, відстані від зрізу сопла до поверхні, що обробляється.

Недоліки методу: велика витрата стисненого повітря; після обробки потрібно очищення деталей від абразивної суміші; не застосовується для важкодоступних місць деталей.

В основі пневмогідроабразивної обробки лежить принцип впливу на поверхню струменя повітря, в який подається пульпа, що складається з води та абразиву (гранатовий концентрат, електрокорунд тощо). Основна відмінність від дробоструминної або піскоструминної обробки полягає у відсутності механічного наклепу поверхні та короблення виробу через нагрівання, а також в екологічній безпеці.

Сутність віброабразивної обробки полягає в тому, що деталям в абразивному середовищі, яке завантажено у контейнері вібраційної установки, повідомляються коливальні рухи. Частота вібрації складає близько 2200...5000 коливань за хвилину, амплітуда 1-3 мм. Як рідке середовище використовують водний розчин ЛК 316 або ЛК 345 в концентрації 1/20...1/40 або інші спеціальні розчини. Рівень розчину повинен бути на 30-50 мм вище за рівень деталей у контейнері віброустановки. Вібраційна обробка в порівнянні з галтуванням має більш високу продуктивність (приблизно в 10 разів) та високу стабільність (точність знімання металу до 1 мкм). Тривалість процесу віброобробки може бути до 20 годин.

Оброблювані деталі (1) завантажують в робочу камеру (2), заповнену шліфувальним матеріалом і встановлену на підставі (3), підвішеному на пружинах (4) (рис. 1.13).



Рисуюнок 1.13 – Схема встановлення віброабразивного оброблення

Робочій камері повідомляють від вібробудника осцилюючі руху. Під дією вібрації деталі та шліфувальний матеріал приходять в інтенсивне відносне переміщення, здійснюючи два види рухів: коливання та повільне обертання масиву завантаження (циркуляційний рух).

У процесі обробки деталі переорієнтуються та проходять різні зони робочої камери, що забезпечує досить рівномірну обробку всіх поверхонь.

Фізична сутність видалення задирок і округлення кромek пояснюється рядом особливостей процесу вібраційної обробки: властивістю плинності робочого середовища під дією вібрації та її інтенсивним перемішуванням. Це забезпечує безперервність "перебігу" частинок робочого середовища, проникнення їх в отвори, пази, контакт її з усіма елементами оброблюваної поверхні і різну орієнтацію оброблюваних деталей щодо руху потоку частинок робочого середовища.

1.3 Хімічні методи

Хімічні методи, при яких видалення задирок та інших ліквідів здійснюється шляхом впливу хімічно активного рідкого або газового середовища. Їх поділяють на хімічні, термохімічні, галтувально-хімічні, турбуляційно-хімічні та віброхімічні способи.

Основою хімічних методів є занурення оброблюваних деталей резервуар з реагентами, де відбувається хімічна реакція. Недоліки:

- знижується точність розмірів, спостерігається нерівномірне травлення металу на поверхні деталі;
- екологічна небезпека, дорога утилізація відходів;
- складність забезпечення гнучкості виробництва.

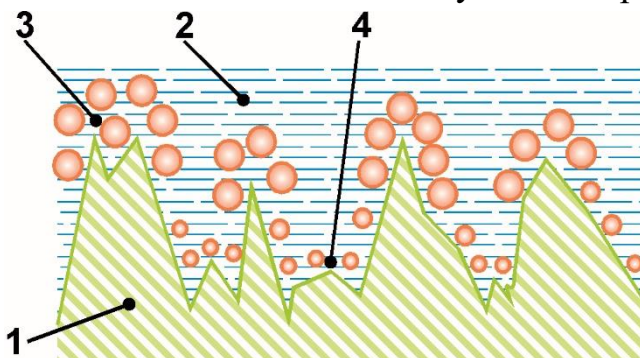


Рисунок 1.14 – Схема процесу хімічної обробки, де основний метал (1); плівка (2); місця активного знімання матеріалу (3); місця уповільнених реакцій (4)

При контурному травленні на очищену та знежирену заготовку наноситься спеціальне лакофарбове покриття певного складу (залежно від розчину для травлення, що застосовується). За шаблоном прокреслюється контур деталі та видаляється покриття з місць травлення. Деталь піддається травленню, освітленню та промиванню, після чого очищається від покриття. Контурне травлення може бути одно-, багатоступінчастим та простим.

При реалізації термохімічного методу як джерело тепла використовують газову суміш із надлишком кисню або хлору. Переваги: гнучкість, висока продуктивність, широка номенклатура матеріалів, що обробляються за рахунок зміни співвідношення компонентів горючої суміші.

Недоліки:

- обмеження щодо найменшої товщини елементів деталі;
- відкладення конденсованих оксидів на поверхнях деталі, які потім видаляються хімічним травленням;
- висока вартість обладнання.

Суть процесу віброхімічної обробки (рис. 1.15) полягає у спільному впливі на поверхню деталі обробних тіл та хімічних реагентів. Безперервне механічне вплив на поверхню деталі сприяє оновленню оброблювального розчину та евакуації продуктів взаємодії, що утворилися, що дозволяє багаторазово знизити концентрацію (до 5%) і агресивність хімічних агентів, виключити нагрівання розчинів.

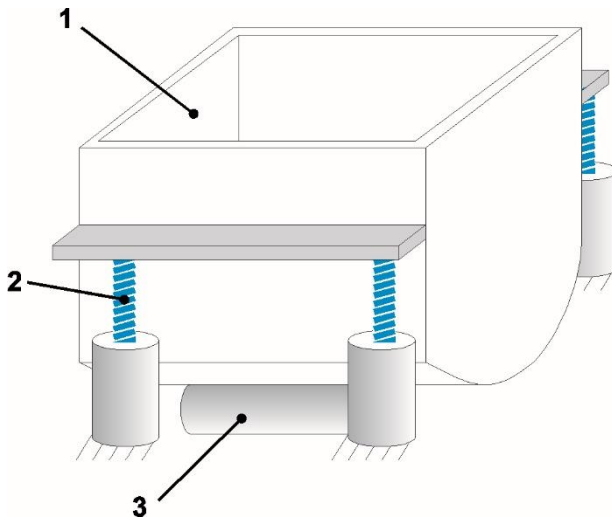


Рисунок 1.15 – Схема віброхімічного оброблення з контейнером (1), пружини (2) та вібратора (3)

Установка є U-подібним контейнером, який за допомогою пружин встановлений на підставі. На контейнері закріплений вібратор, який повідомляє коливання робочої маси, що знаходиться в контейнері. Залежно від технологічного процесу деталі при обробці переміщуються в середовищі обробних тіл або без них. Змочуючим реагентом може бути вода або спеціальні розчини. Передбачені ємності з насосом для циркуляції та відстійником. Режим обробки може змінюватись регулюванням частоти та амплітуди вібрації.

1.4 Електрохімічні методи

Електрохімічне оброблення металів – група методів, призначених для надання оброблюваної деталі певної форми та заданих розмірів. Здійснюється в електролізерах (електролітичних ваннах, електрохімічних осередках спеціальних верстатів, установок), де оброблювана деталь є або анодом (анодна обробка), або катодом (катодна обробка), або тим і іншим поперемінно.

Електрохімічні методи, для яких характерна хімічна дія рідкого середовища та електричного струму, що проходить через електроліт і матеріал деталі, поділяють на електрохімічні з зануренням, електрохімічні локальні, гальванально-електричні, віброелектричні способи.

Недоліки:

- велика тривалість процесу обробки;
- місцеве зняття матеріалу та місцеве травлення;
- не завжди вдається обробляти деталі групами, оскільки без настановної бази неможливо витримати оптимальні зазори між електродами та оброблюваною поверхнею для декількох деталей одночасно;
- підвищена корозія обладнання;
- неможливість забезпечити гнучкість виробництва, оскільки складно підібрати розчин для кожного матеріалу, що обробляється;
- екологічна небезпека, дорога утилізація відходів;

В результаті електрохімічної обробки (відлуння) в поверхневому шарі не відбувається структурних змін, його мікротвердість така ж, як і основного металу. Залишкові напруги відсутні, не утворюється мікротріщин та наклепу. Однак розтравлення поверхні на 5-15% знижує міцність втоми.

Для електрохімічного оброблення оброблювані деталі, що є анодом (тобто електродом, з'єднаним з позитивним полюсом джерела струму), поміщають у електролітичну ванну (рис. 1.16). Другим електродом є металеві катоди. При електрохімічному поліруванні в першу чергу розчиняються найбільш високі виступи шорсткості, потім поверхня вирівнюється і стає гладкою і блискучою.

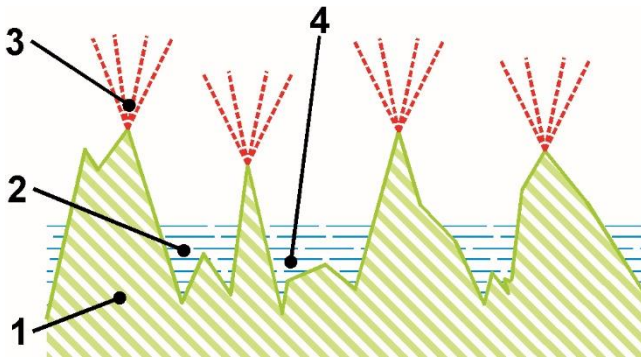


Рисунок 1.16 – Схема процесу електрохімічного оброблення: основний метал (1); плівка (2); місце більш активного знімання нерівностей (3); місце уповільнених реакцій (4)

Особливості формоутворення кромки при відлунні обумовлені такими основними факторами:

збільшенням напруженості електричного поля на гострій кромці та задирках, що призводить до їхнього переважного розчинення; високою нерівномірністю припуску, що знімається (по бісектрисі кута, округленої кромки припуск може становити кілька міліметрів, а в точці сполучення кромки з поверхню деталі припуск близький до нуля).

Для дрібних невідповідальних деталей використовується найбільш проста та продуктивна схема загального травлення (деталі завантажуються в барабан з додаванням мармурової крихти тощо). Для складних та відповідальних деталей має бути забезпечене локальне травлення, тому застосовуються схеми з фіксованим розташуванням електродів щодо кромки. Залежно від конструктивних особливостей деталей схеми можуть мати відмінність за способом подачі електроліту, методами захисту від розтравлення необроблюваних поверхонь та ін.

Швидкість анодного розчинення залежить від відстані між електродами: чим менше, тим інтенсивніше відбувається розчинення. Тому при зближенні електродів поверхня анода (заготівля) точно повторюватиме поверхню катода (інструменту). Однак процесу розчинення заважають продукти електролізу, що накопичуються в зоні обробки, та виснаження електроліту. Видалення продуктів розчинення та оновлення електроліту здійснюються або механічним способом (анодно-механічна обробка), або прокачуванням електроліту через зону обробки (рис. 1.17). Стрілками показано напрямок руху електродів і електроліту.

Цим методом, підбираючи електроліт, можна обробляти практично будь-які струмопровідні матеріали, забезпечуючи високу продуктивність у поєднанні з високою якістю поверхні. Електрохімічні верстати, що використовуються для анодно-гідралічної обробки, прості в обігу, використовують низьковольтне (до

24 В) електрообладнання. Проте значні щільності струму (до 200 A/cm^2) вимагають потужних джерел струму, великих витрат електроліту (іноді до $1/3$ площі цехів займають баки електроліту).

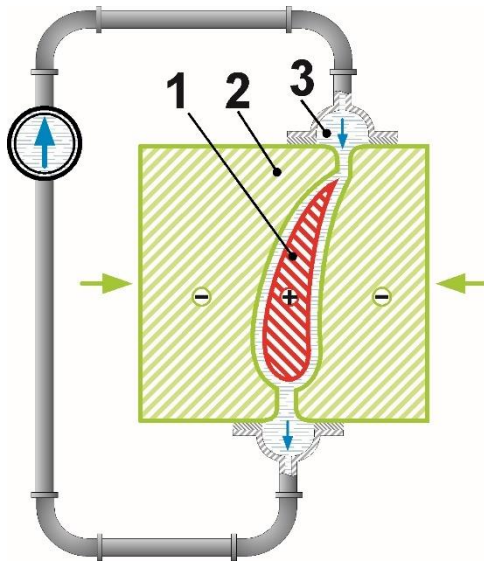


Рисунок 1.17 – Схема анодно-гидравлічної обробки поверхні турбінної лопатки рухомими електродами (2), лопаткою (1) та електроліту (3)

Режими електрохімічної обробки кромek визначаються щільністю струму, температурою електроліту та часом обробки.

Сутність віброабразивної електрохімічної обробки полягає в тому, що пакет деталей, встановлений на шпindelь верстата, що обертається, занурюється в віброуючу абразивну середу, зволожену електролітом необхідного складу.

1.5 Фізичні методи

Фізичні методи, при яких обробку здійснюють шляхом фізичного впливу на матеріал ультразвукових хвиль, електричних розрядів, електрогидравлічних ударів та ін, поділяють на ультразвукові, електроконтактні, криогенні та імпульсні.

Залежно від виду застосовуваних хімічно активних середовищ та твердих наповнювачів ультразвуковий (УЗ) метод поділяється на два способи: ультраабразивний – суспензія з рідкого середовища з абразивними зернами; ультрахімічний – середовище як хімічно активних розчинів.

Перехід з гальувальної обробки деталей до ультразвукового методу скорочує час обробки в 200 разів, без зниження точності попередньої обробки.

Недоліки УЗ методу:

- застосовується тільки для дрібних деталей;
- відсутність серійного обладнання

Розмірна ультразвукова обробка заснована на руйнуванні оброблюваного матеріалу абразивними зернами або зміні форми матеріалу під ударами інструменту, що коливається з ультразвуковою частотою. Джерелами енергії є генератори струму з частотою 16-30 кГц. Інструмент отримує коливання від ультразвукового перетворювача із сердечника з магніострикційного матеріалу (нікелю, фериту та ін.). Амплітуда коливання осердя становить 2-10 мкм. Для зростання амплітуди коливання на осерді закріплюють резонансний хвилевід, на виході якого коливання вже мають амплітуду 10-60 мкм. На хвилеводі закріплюють робочий інструмент – пуансон. Під пуансоном встановлюють заготівлю та в зону обробки поливом або під тиском подають абразивну суспензію, що складається з води та абразивного матеріалу. Руйнування матеріалу відбувається лише за рахунок прямого удару інструменту по зерну абразиву, що лежить на поверхні матеріалу. Передача руху торцем інструменту вільній частинці абразиву та удар її по поверхні матеріалу не викликає руйнування. Кавітація також не руйнує матеріал і передає енергію абразиву. Розміри частинок, що відколюються менше зерен абразиву.

При електроконтактних методах використовують для обробки тепло, що виділяється при протіканні струму через поверхні, що стикаються, що володіють підвищеним контактним електричним опором. Процес складається із трьох етапів: вплив металевої щітки; короткочасний електричний точковий контакт тяганини з металом деталі, що супроводжується інтенсивним тепловиділенням; видалення металу, що розплавився щіткою.

Недоліки методу:

- 1) недостатня його вивченість;
- 2) відсутність серійного обладнання;
- 3) неможливість обробки дрібних деталей;
- 4) збільшення шорсткості оброблюваної поверхні;
- 5) термічну зміну структури поверхневого шару;
- 6) утворення вторинних ліквідів.

Технологія електроімпульсної обробки заснована на використанні імпульсних електричних розрядів, що впливають на поверхню, що обробляється виробу, зануреного в електроліт. На відміну від класичного електрохімічної обробки полягає в тому, що під дією робочої напруги біля поверхні виробу створюється динамічно стійка парогазова оболонка. Комплексний вплив хімічно активного середовища парогазової оболонки і електричних розрядів, що виникають в ній, сприяє протіканню на оброблюваній поверхні інтенсивних фізико-хімічних процесів, що забезпечують ефективне електрохімічне

розчинення металу. Це призводить до згладжування мікронерівностей оброблюваної поверхні, видалення задирок.

Переваги: порівняно з механічною обробкою забезпечується зниження трудомісткості у 5...40 разів; малостадійність технологічного процесу (суміщення в одній операції полірування, очищення поверхні та притуплення кромки); автоматизація.

Недолік методу – не забезпечує розмірності.

1.6 Методи лазерного оброблення

Фізичні процеси, що відбуваються при лазерному очищенні поверхні, відрізняються великою різноманітністю та залежать від щільності потужності лазерного випромінювання на поверхні. Загальна схема процесів впливу лазерного випромінювання на матеріали стосовно очищення поверхні наведена на схемі рис. 1.18

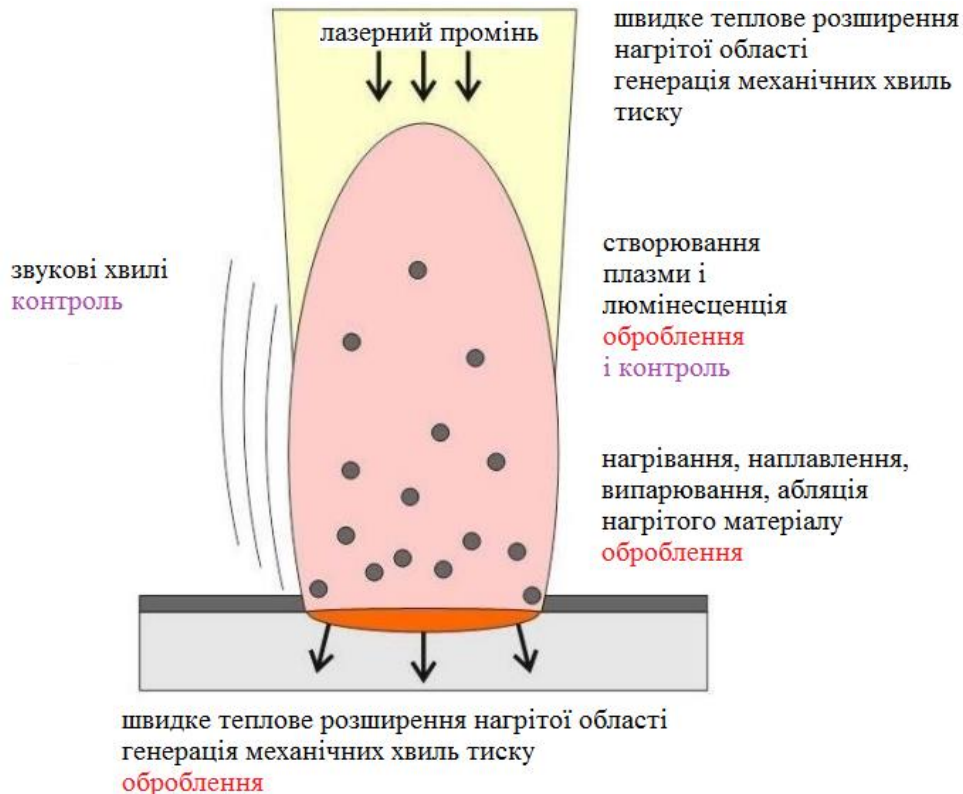


Рисунок 1.18 – Загальна схема процесів лазерного очищення поверхні

Процеси лазерного нагрівання, випаровування та абляції матеріалу з утворенням плазми, а також швидке теплове розширення та виникнення ударних хвиль лежать в основі механізмів лазерного очищення, у той час як свічення плазми та акустичний сигнал у повітрі можуть бути використані для контролю режимів та ступеня очищення. Таким чином, для очищення цікавить весь спектр

процесів взаємодії лазерного випромінювання з речовиною, причому не тільки на повітрі, але і в рідкому середовищі, де найчастіше процеси видалення забруднень йдуть набагато ефективніше і при менших потужностях випромінювання.

Історично спочатку використовувалися переважно випарні механізми лазерного очищення, коли густина потужності випромінювання перевищує значення, при якому починається випаровування забруднюючих речовин з поверхні. В цьому випадку в основі фізики процесу лазерного видалення поверхневих шарів (іржі, окалини, оксидів, забруднень, лаків, фарб, жирів і т.д.) лежить ефект випаровування, тобто переведення матеріалу з твердої фази в парогазо-плазмову, при цьому бажано мінімізувати утворення рідкої фази.

При довжині хвилі 1,06 мкм випромінювання лазера поглинаються тонкому поверхневому шарі металу, тоді як неметалеві речовини мають об'ємне поглинання. Тому при товщині неметалевого забруднення кілька сотень мікронів цей шар відносно прозорий. Лазерний імпульс (1), потрапляючи на забруднену поверхню (3), проходить крізь забруднення практично без ослаблення і поглинається в приповерхневому шарі матеріалу (2) (рис. 1.19, а).

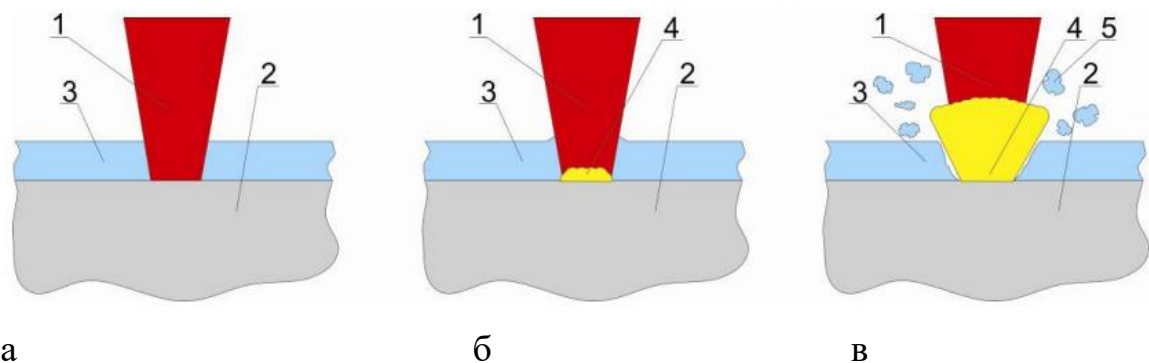


Рисунок 1.19 – Випарний механізм лазерного очищення при проходженні лазерного імпульсу крізь забруднену поверхню до металу (а), при розігріванні металу (б) і безпосередньо процес випарювання металу (в)

У разі коли щільність потужності лазерного випромінювання (1) достатня для того, щоб розігріти матеріал (метал) (2) до температури кипіння на межі розділу забруднення – основний матеріал, починається випаровування матеріалу (2) (рис. 1.19, б). Під тиском розігрітих до високих температур пара шар неметалевого забруднення руйнується і видаляється з поверхні матеріалу (рис. 1.19, в). Таким чином, завдання очищення зводиться до забезпечення мінімального порога випаровування речовини основного металу, що забезпечується імпульсним режимом впливу. Крім того, чим менша тривалість впливу, тим менший розмір прогрітої зони речовини і, отже, менше кількість

розплаву, що утворюється, і пари (тобто менше пошкодження основної речовини) при більшому тиску останнього. Випарні режими лазерного очищення можливі при використанні як імпульсного, так і безперервного лазерного випромінювання, коли йдеться про чорнові процеси, що вимагають високої продуктивності.

У багатьох випадках лазерного очищення зменшення теплового на поверхневий шар основного матеріалу використовуються довиварювальні режими лазерної очищення. При цьому очищення поверхні твердого тіла від плівок, як і від забруднюючих частинок, проводиться в низькоенергетичних режимах, щоб запобігти руйнуванню поверхневих шарів або виникнення в них небажаних фізичних та хімічних змін. Сухе лазерне очищення починається з швидкого теплового розширення приповерхневого шару основного матеріалу і забруднення, що видаляється під дією коротких імпульсів лазерного випромінювання, яке призводить до виникнення механічних напруг у забруднювальному шарі та інерційної сили при припиненні імпульсу. При вологому лазерному очищенні поверхню перед обробкою покривають тонким шаром рідини, кипіння якого руйнує та виносить забруднення. Для зміцнення деталей застосовують лазерні установки безперервної, імпульсної та імпульсно-періодичної дії з твердотілим або газовим активним елементом. У будь-якій лазерній технології основним завданням є забезпечення відносного переміщення променя та оброблюваної деталі. Це завдання вирішується розробкою різних способів переміщення лазерного променя. У випадку для обробки нерухомих великогабаритних деталей використовується система управління з допомогою трьох поворотних дзеркал і фокусувальної системи.

Лазерно-плазмове «заліковування» поверхневого шару. Технологія лазерно-плазмової обробки дозволяє усунути в поверхневому шарі різного роду дефекти (мікротріщини, пори, раковини, заходи сонця, волосовини тощо). Ця технологія називається технологією лазерно-плазмового «лікування» поверхневого шару. Фактично це високошвидкісна мікрометалургійна операція – переплавлення поверхневого шару, що проводиться лазерним пучком та приповерхневою лазерною плазмою, що дозволяє усунути дефекти поверхневого шару – пори, раковини, мікротріщини, заходи сонця, неметалеві включення, гази та інші дефекти. В результаті формується однорідна ізотропна мікроструктура поверхневого шару підвищеної твердості та зносостійкості (рис. 1.20).

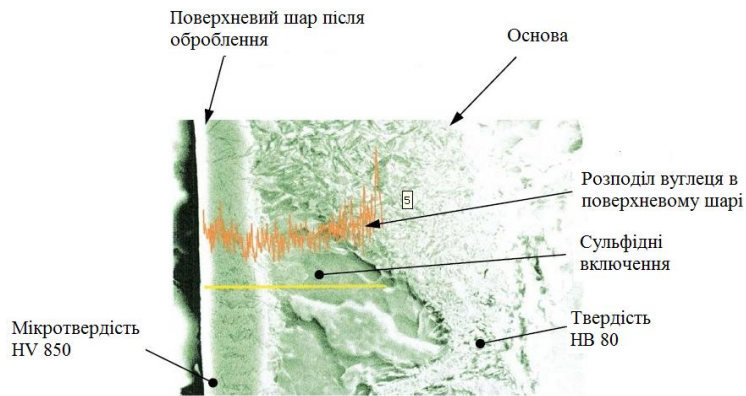


Рисунок 1.20 – Усунення дефектів поверхневого шару лазерно-плазмовим рафінуванням

Лазерно-плазмова мікрOMETалургійна обробка поверхневого шару дозволяє отримати структури з високою гомогенністю та ізотропними властивостями, високою мікрохімічною однорідністю, що дозволяє забезпечити стійко-високе значення адгезії покриття, що наноситься з поверхнею, і уникнути розвитку підплівкової корозії.

Лазерне плакування. Лазерне плакування – наплавлення порошкового металевого сплаву. Застосування потужного лазера забезпечує підведення тепла в локальну зону, що дозволяє організувати наплавлення порошкового матеріалу на поверхні деталі. У деяких випадках властивості наплавленого сплаву можуть значно перевершувати характеристики матеріалу деталі, що дозволяє не тільки відновити її геометрію, а й покращити експлуатаційні властивості.

Лазерно-плазмове полірування поверхні. Одним із перспективних сучасних напрямків, що дозволяють замінити ручну працю при поліруванні складних поверхонь та кромek, є гібридна технологія лазерно-плазмового полірування. Дія поверхневого натягу при лазерному поверхневому нагріванні згладжує рельєф шорсткої поверхні, а також сприяє відпалу приповерхневого шару та покращенню його структури. Фізичний механізм лазерного полірування поверхні (згладжування шорсткості) пов'язаний з рухом розплаву під дією сил поверхневого натягу, спрямованим на зменшення площі вільної поверхні. У режимі "чорнового" полірування покращується показник Ra практично в 10 разів при продуктивності кілька $\text{cm}^2/\text{хв}$, що залежить від потужності лазерного випромінювання і вихідної шорсткості.

1.7 Технічний опис процесу суперфінішування

Суперфінішування (суперфініш) - оздоблювальна механічна операція з обробки металевих деталей. Застосовується для фінішної обробки поверхонь після шліфування з метою суттєвого збільшення експлуатаційних властивостей завдяки одержанню дуже малої шорсткості $Ra = 0,6 \div 0,05$ мкм. Для охолодження використовують мастильно-охолодні рідини (МОР) з 80-90% гасу і 10-20% турбінного масла.

Суперфінішування відбувається при обертальному русі деталі та поступальному зміщенні брусків з накладенням коливальних рухів. Для нього характерні коливальні (осцилюючі) рухи та поздовжні подачі абразивних брусків або деталі, постійна сила притискання бруска до деталі та малий тиск у зоні обробки. Обробка відбувається без істотної зміни розмірів та макрогеометрії поверхні. У міру зняття вершин гребінців збільшується контактна поверхня, зменшується тиск брусків, стружка заповнює пори брусків, ріжуча здатність брусків знижується, процес обробки припиняється. У початковий період обробки наступної деталі абразивні бруски, стикаючись з шорсткою поверхнею, самозаточуються і відновлюють ріжучі властивості. Амплітуда руху брусків становить 1,5-6 мм, а частота 400-1200 коливань за хвилину. Контакт деталі та інструменту здійснюється по поверхні, бруски притискаються до деталі з тиском $(0,3 \div 3) \cdot 10^5$ Паскалей, що забезпечує мікрорізання одночасно великою кількістю абразивних зерен. У ході обробки змінюється глибина і вид мікронерівностей, поверхня набуває сітчастого рельєфу.

Особливістю суперфінішування є зниження інтенсивності видалення матеріалу після зняття гребінців вихідної шорсткості з деталі. Розміри і форма абразивних брусків визначається розмірами та конфігурацією оброблюваної заготовки. Найчастіше при суперфінішуванні застосовуються два бруски, а при обробці великих деталей - три бруски. Використовувані бруски розрізняються і за матеріалом. Для обробки сталей застосовують бруски з електрокорунду, при обробці чавуну та кольорових металів - з карбїду кремнію.

У більшості випадків застосовують бруски на керамічній або бакелітовій зв'язках. Застосовуються універсальні та спеціальні верстати. До універсальних верстатів відносяться верстати для обробки в центрах, безцентрові та верстати для обробки торцевих поверхонь, а до спеціальних - верстати для суперфінішування шийок валів та обробки жолобів кілець підшипників. Верстати можуть бути одно-, дво- та багатопозиційні. Більшість сучасних верстатів для суперфінішування – напівавтомати. Також можуть бути

використані токарні, шліфувальні верстати із застосуванням спеціальних головок.

Переваги і недоліки

Переваги:

- простота обладнання, що застосовується;
- можливість використання універсальних (токарних, шліфувальних) станків;
- висока продуктивність;
- велика фактична опорна площа поверхні (до 90% від усієї поверхні);
- висока якість отримуваних поверхонь;

Недоліки:

- не усуває похибки форми (хвилястість, конусність, овальність), отримані на попередній обробці, проте її можна значно зменшити, удосконалюючи процеси та використовуючи особливі режими обробки;

1.7.1 Типи обробки деталей

Шліфування

Шліфування металу - це етап кінцевої обробки зі зняттям поверхневого шару інструментами, абразивами. Зменшує сукупність нерівностей із невеликими кроками на типових довжинах поверхонь. Доводить розмірну сітку отворів до заданих параметрів. Зазвичай підбирається в залежності від особливостей металу та ділиться на кілька видів. Фінішне доведення металу не тільки прибирає дефекти після попередньої обробки, а й надає продукції естетичну привабливість. З її допомогою домагаються високоточності заданих геометричних, внутрішніх, зовнішніх розмірів, глибини, а також відповідності форм (парабола, еліпсоїд тощо) вищих порядків.

Шліфування представлено такими основними методами:

- Обробка плоских зовнішніх поверхонь із заданими параметрами кривизни. Це три стадії:

1) обдирна – альтернатива струганню, фрезеруванню, підходить для чавунних, сталевих елементів, стиків зварних конструкцій для видалення твердих поверхневих шарів;

2) чорнова – однопрохідна або багатопрохідна методика, що виконується на спеціальних станах з використанням абразивних кіл;

3) чистова – обробка дрібним абразивом для зниження сил, що впливають на поверхню, покращує температурний режим, знижує можливість деформування деталей. В окремих випадках стає альтернативою фрезерування.

– Кругле (врізне).

- Принцип послідовного притискання до поверхні абразивного інструменту. Точності досягають виходячи від ступеня притиску та розміру абразиву. Знижує рівень шорсткості, підходить для габаритних виробів, має (верстати) точність налаштувань та широкий вибір обладнання для роботи.

– Безцентрове (зовнішнє)

Для обробки деталей зовні, усередині:

- зовнішні частини - обробляються заготівлі великих довжин при збереженні постійних параметрів у діаметрі та поверхні з поглибленнями, вирізами, проточками (фасонні, ступінчасті елементи);
- внутрішні частини - подібна процедура вищеописаної.

Єдине, що змінюється у другому варіанті - подача шліфувального інструменту, виходячи від конфігурації деталі. Виконується трьома обкатними способами при:

- безперервному шліфуванні - обидві поверхні шліфуються одночасно;
- періодичному рівні розподілу – враховує похибки від розміру кроку зубів;
- профільний метод шліфування - проводиться за один прохід.

Переваги – продуктивність, високоточність, якість навіть за умов масштабного випуску продукції.

– Зубошліфування.

Необхідно для зубів зубчастого типу коліс, передач із заданим кроком - зубчастих та черв'якових. Щоб ще більше підвищити якість, використовується зубохонінгування біло електроторундовими пастами або хромотитанової,

нітридборової суміші. Здійснюється на внутрішньошліфувальних станах в процесі взаємодії напівфабрикату з робочим інструментом. Залежно від конструкції виробу, що обробляється, використовуються різновиди взаємодії:

- обертання деталі при прямо подається інструменті;
- виріб подається до установки, що обертається;
- комбінована подача – паралельна плюс поперечна.

Переваги – отримання шліфування з найвищим ступенем якості.

– Доведення внутрішніх порожнин.

Процеси необхідні для фінішного доведення підшипників, деталей трансмісії авто, гідравлічних, пневматичних пристроїв.

Переваги – покращує якість внутрішніх, торцевих порожнин, ліквідує осьове зміщення у отворах, забезпечує правильними геометріями, заданими за кресленням діаметрами.

Режими шліфування

Швидкісні режими встановлюються за нормативами. При цьому в облік беруться такі показники:

- тип, модель верстатного обладнання;
- припуск на доведення (чистову обробку);
- рівень шорсткості;
- допуски щодо шліфування;
- розмір, матеріальне виконання заготівлі.

Обов'язково варто враховувати властивості виробу з обробки абразивними інструментами.

Обладнання та інструменти

Для підвищення продуктивності, якості працювати доцільніше на верстатах типу шліфувальні:

- кругло;
- усередині;
- обдирно;
- шліце;
- плоско;
- притирально;
- полірувально.

Обладнання дозволяє отримати 0,32 мкм коефіцієнт шорсткості при точності обробки до 0,08 мкм. Технологія збільшує показники до 0,02 мкм, допомагають абразивні склади.

До ручного інструменту відносяться шліфувальні машинки, бруски, дрилі та шуруповерти з різними насадками, стрічки, напилки, диски, болгарки, алмазні пасти, полотна тощо. Абразиви мають різні розміри зерен, а також форму: коло, вал, лист, стрічка.

Обробка деталей перед шліфуванням

Це підготовка виробів до основного процесу шліфування:

- чорнове обточування - надання заданих форм, розмірів деталі при обліку на допуски;
- чистове обточування - припасування деталі під необхідні габарити;
- фрезерування – поверхнева обробка;
- термообробка – підвищення твердості, міцності готової продукції.

Хонінгування

Хонінгування – (англ. honing, від hone – хонінгувати, буквально – точити). Вид абразивної обробки матеріалів із застосуванням хонінгувальних головок (хонів). В основному застосовується для обробки внутрішніх циліндричних отворів шляхом поєднання обертального і поступально-поворотного руху хону з закріпленими на ньому розсувними абразивними брусками з рясним зрошенням оброблюваної поверхні мастильно-охолоджувальною рідиною. Хоча також трапляється і зовнішнє хонінгування, але виконується така операція на спеціалізованих верстатах. Зовнішнє хонінгування застосовується на деталях великої довжини, обробка яких у звичайних металообробних верстатах неможливо. Наприклад, штоки гідрогальм артилерійських знарядь. Хонінгування зовнішніх поверхонь може здійснюватися на модернізованих (шліфувальних, горизонтально-розточувальних) верстатах. Хонінгувати можна деталі як із чорних матеріалів (сталі та чавуни), так і з кольорових (латуні, бронзи, алюмінієві цинкові та магнієві сплави).

Передові виробники обладнання для хонінгування дають чіткі рекомендації щодо виконання цієї операції. Ці рекомендації поширюються на застосування абразивних та мастильних матеріалів, налаштування обладнання, припуски на обробку та найголовніше – методи контролю якості виконаної роботи. Для контролю шорсткості німці застосовують тестер Hommel з

можливістю виведення на друк діаграми мікропрофілю та параметрів шорсткості в оцінних одиницях.

Шорсткість поверхні після хонінгування витримується суворо від виду палива:

- для бензинових двигунів $Rz = 3...6$ мкм, $Ra = 0,6...1,0$ мкм;
- для дизельних двигунів $Rz = 4...8$ мкм, $Ra = 0,8...1,2$ мкм;

Для контролю кута хонінгування – застосовується спеціальна плівка-шаблон. На рис. 1.21 вона додана до стінки циліндра.

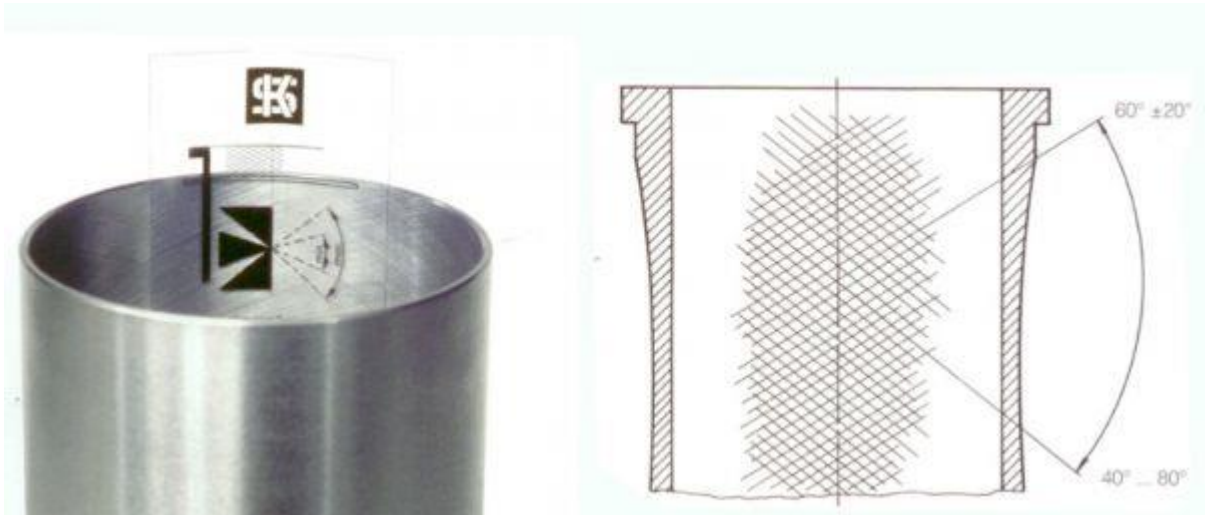


Рисунок 1.21 – Плівка шаблон для перевірки ліній хону

Вплив параметрів хонінгування

Для надійного утримання олії на поверхні циліндра (чого заради власне і затіяна вся ця обертально-поступальна "метушня"), стінка останнього повинна мати певну шорсткість абсолютно гладка стінка не здатна утримати на собі олію, в кількості необхідному для нормального мастила кілець. З абсолютно гладкою, дзеркальною, поверхні масло буде зніматися майже повністю, масло, що залишилося, згорятиме, а нової олії, необхідної для нормального мастила надходити не буде. Таким чином формуватимуться умови для сухого тертя, яке спричиняє підвищений знос. Поверхня, що має високу шорсткість, здатна значно краще затримувати на собі масло і відповідно сприймати вищі механічні навантаження. Низька шорсткість утримує масло дещо гірше. Більший кут хонінгування впливає на витрату олії (чад), але в цьому випадку менше проявляється хвилястість поверхні циліндра. Маленький кут впливає зниження

витрати масла. Ось такі закономірності. Тому потрібен підбір режимів хонінгування та матеріалів, які й забезпечують необхідний результат. Груба поверхня (глибокі ризики - висока шорсткість) виходять після застосування крупнозернистого абразиву, на першій стадії чорнового хонінгування. Тут застосовують алмазні бруски на мідній основі. Хонінгування ведеться з надлишком СОЖ. Для виносу із зони різання продуктів зносу як матеріалу циліндра, так і матеріалу бруска.

Поверхня, що виходить після чорнового алмазного хонінгування, непридатна для роботи по ній кілець, поршня та й роботи взагалі. У деяких випадках алмазне (силове) хонінгування служить заміною розточування циліндра, з тією лише різницею, що процес хонінгування продуктивніший і легше піддається автоматизації. На другій стадії отримана поверхня обробляється більш дрібнозернистим абразивом, але не чистовим. При цьому формується новий мікропрофіль поверхні. На даному етапі застосовують абразивні матеріали розміром зерна 1/150 мм.

Остаточне хонінгування ведеться матеріалами із зерном від 1/300 - 1/500 мм, до досягнення остаточного розміру циліндра.

Фінішна операція при хонінгуванні – хонінгове крацювання. При цій операції не відбувається зміна розміру циліндра (отвору), отриманого при чистовому хонінгуванні. При цій операції отриманий мікропрофіль повністю очищається від залишків хонінгувального абразиву, оголюються графітові зерна (для чавунних циліндрів), що впливає на зниження тертя, а отже на механічні втрати та зношування. При крадіжці використовують спеціальні щітки з нейлонових ниток з додаванням кристалів кремнію.

Використовуючи обладнання для хонінгування можна проводити нанесення антифрикційних покриттів на стінки циліндрів, обробляти циліндри алюмінієвих блоків (правда не всіх) і виконувати плосковершинне хонінгування. Ці операції принципово не відрізняються від звичайного хонінгування. Для їх проведення необхідні спеціальні матеріали та хонінгувальні бруски.

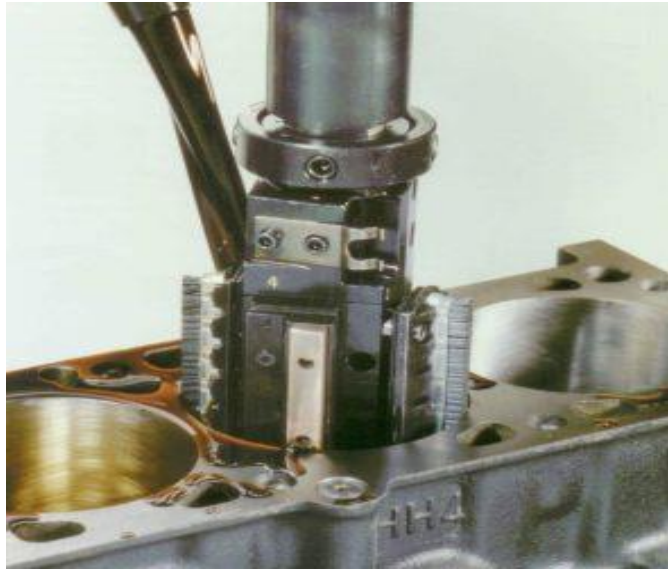


Рисунок 1.22 – Щітки для крацювання

Розкочування

Розкочування металу є одним з важливих етапів обробки матеріалів на токарних верстатах. Цей процес дозволяє змінити форму та розмір деталей, а також надати їм необхідні характеристики для подальшої обробки та використання.

Основний принцип розкочування металу полягає в безперервному подачі матеріалу вздовж поверхні ріжучого інструменту. Це дозволяє поступово змінювати форму деталі, видаляти надлишки та досягати необхідних розмірів та габаритів.

Для здійснення розкочування металу на токарному верстаті використовуються різні техніки, які залежать від виду та властивостей оброблюваного матеріалу. Одним з основних методів є поздовжнє розкочування, при якій матеріал подається за напрямом, паралельному осі обертання. Також широко застосовується поперечна розкочування, при якій матеріал переміщається перпендикулярно осі обертання. Дані техніки дозволяють отримувати різноманітні форми та деталі з металу.

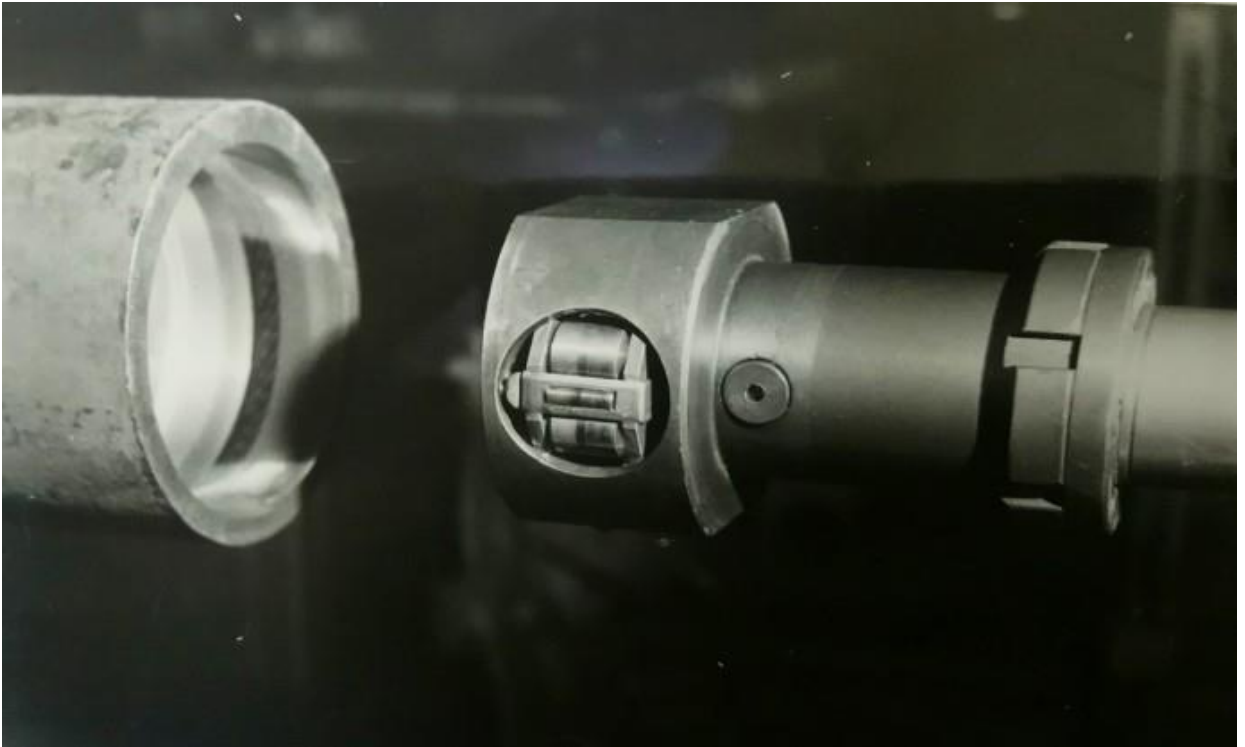


Рисунок 1.23 – Розкочування внутрішніх поверхонь на токарному верстаті

Розкочування металу - важлива операція в процесі обробки металевих деталей на токарних верстатах. Цей процес являє собою зміну форми заготівлі шляхом механічної обробки на стрижні, що обертається. Розкочування може проводитися як для отримання заготовки певної форми, так і для поліпшення її якості.

У процесі розкочування металу на токарному верстаті важливо правильно вибрати інструменти та налаштувати верстат. Існує кілька технік розкочування, включаючи внутрішнє і зовнішнє розкочування, а також розкочування на конічних елементах. Кожна з цих технік має свої особливості та можливості застосування.

Для успішного розкочування металу необхідно враховувати кілька факторів. Насамперед слід визначитися з вибором матеріалу для заготівлі. Рекомендується використовувати метал з гарною пластичністю та міцністю. Також важливо правильно налаштувати швидкість обертання стрижня та вибрати оптимальні параметри подачі інструменту.

У процесі розкочування металу на токарному верстаті необхідно забезпечити точне позиціонування та стабільність заготівлі. Для цього можна використовувати спеціальні пристрої та пристрої. Крім того, слід звернути увагу на якість поверхні стрижня та стан різального інструменту.

В результаті правильно проведеного розкочування металу на токарному верстаті можна отримати деталь необхідної форми та розмірів. Крім того, цей процес дозволяє покращити властивості заготовлі, такі як міцність, твердість та точність розмірів. Основні принципи та техніки розкочування металу повинні бути відомі кожному оператору токарного верстата.

Принципи розкочування металу

Розкочування металу на токарному верстаті - це процес, при якому за допомогою токарного інструменту відбувається зміна геометрії та розмірів деталі. Існують кілька принципів, якими керуються під час виконання розкочування металу.

Перший принцип – вибір оптимальної швидкості обертання верстата. Вона має відповідати властивостям металу, з яким працюють. Якщо швидкість буде надто високою, то метал може перегрітися, а при надто низькій швидкості якість обробки може бути низькою.

Другий принцип пов'язаний із вибором методу розкочування. Можуть використовуватися такі методи, як поздовжнє або поперечне розкочування, обертання деталі або ролика, а також комбінований метод. Вибір методу залежить від усіх параметрів деталі та вимог до готового виробу.

Третій принцип - підвищення міцності та твердості деталі. Це досягається за рахунок зміни структури металу під час розкочування. Метал стає більш щільним та однорідним, що дозволяє покращити його механічні властивості.

І останній принцип — точність та якість розкочування. Для досягнення високої точності використовуються спеціальні інструменти, оснащені пристроями, що центрують, і системами контролю якості. Це дозволяє досягти високої точності розмірів та форми деталі.

Основні техніки розкочування металу

Розкочування металу на токарному верстаті - це один з основних процесів обробки металевих заготовок. Для того, щоб досягти бажаного результату, застосовуються різні техніки розкочування, які дозволяють змінювати форму та розміри заготовки.

Однією з основних технік розкочування металу є поздовжнє розкочування. При цьому заготовля закріплюється в спеціальному пристосуванні і обертається

навколо своєї осі. За допомогою ріжучого інструменту, розташованого на поперечно-рухливій бабці, відбувається видалення металу. В результаті цього процесу на заготовці з'являється бажана форма та розміри.

Другий метод розкочування металу - поперечне розкочування. Заготовля також закріплюється у спеціальному пристрої, але в цьому випадку основний рух відбувається у напрямку до задньої стінки торця, а не поздовжньо. Цей метод дозволяє формувати заготовлю з різними отворами та виїмками.

Крім того, існує метод розкочування металу з використанням прокатних валків. При цьому процесі заготовля подається між двома обертовими валками, які стискають і деформують метал до отримання бажаної форми.

Також можна використовувати метод згинання металу, при якому заготовля піддається пластичній деформації за допомогою згинального інструменту. Цей метод дозволяє отримувати заготовки з вигинами та кутовими елементами.

1.8 Висновки конструкторського розділу

В конструкторському розділі було розглянуто різноманітність типів та методів кінцевої обробки деталей.

Всі зазначені методи обробки металу мають свої переваги та недоліки, і вибір конкретної техніки залежить від необхідного результату та особливостей оброблюваного матеріалу. Тому важливо правильно підбирати техніку обробки залежно від завдання та матеріалу.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Дослідження процесу термоімпульсного оброблення елементів деталей з метою забезпечення допустимого рівня ресурсу виробу і підвищення точності формоутворення

Комплексний підхід до забезпечення якості аерокосмічної і воєнної техніки, перш за все, передбачає технологічне забезпечення, яке виключає негативний вплив супутніх явищ на якість продукції. Негативні супутні явища технологічних процесів є причиною прихованих дефектів, які виникають в процесі експлуатації. До таких дефектів належать первинні технологічні забруднення у вигляді мікрочастинок, швидкозношуваної частини мікрорельєфу поверхні, задирки на поверхнях і кромках деталей. Найбільш масове забруднення гідравлічних систем відбувається на початку експлуатації виробів з частинками менше 5 мікрометрів. Згідно зі статистичними даними, більшість відмов гідросистеми літака, пов'язаних з несправністю насосів, заклинюванням розподільних і контрольних пристроїв, підвищеним зносом відповідальних частин, відбувається внаслідок технологічних забруднень. Тому одним із найважливіших заходів забезпечення надійності та довговічності авіаційних агрегатів є виконання вимог промислової чистоти деталей агрегатів і гідросистем у процесі виробництва та експлуатації.

Механічна обробка є не тільки засобом забезпечення точності розмірів виробу, але й джерелом технологічних забруднень у вигляді задирок, мікрочастинок, швидкозношуваної частини мікрорельєфу. Уникнути цих явищ при різанні неможливо – це прояв законів механіки суцільного середовища. Повне їх видалення бритвою неможливо - її використання призводить до утворення менших вторинних задирок. Відмінною особливістю виробництва авіаційних агрегатів є забезпечення їх мінімальної ваги, використання різноманітних, у тому числі високоміцних, матеріалів: алюмінію, сталі, титанових сплавів, сплавів на основі міді, пластмас і гуми, висока точність виготовлення. затворно-плунжерних пар, шестерень та інших деталей. Номенклатура деталей на одному підприємстві може становити кілька десятків тисяч для дрібносерійного виробництва, а номенклатура використовуваних матеріалів перевищує більше сотні найменувань. Все це призводить до того, що переважна кількість дефектів виникає з виробничих причин через недоліки технології. Так, за статистикою, 85% зняття зі стендових випробувань двигунів ГТД відбувається через неякісне виконання технологій обробки та очищення поверхонь деталей від технологічних забруднень.

Відомо більше ста двадцяти фінішних і очисних методів обробки з використанням механічних, хімічних, різних фізичних процесів. Технології

детонаційного газу є найбільш привабливими через їх універсальність і гнучкість щодо деталей зі складною конфігурацією внутрішніх і зовнішніх поверхонь.

Термохімічний метод набув поширення за кордоном. Як джерело тепла використовується газова горюча суміш з надлишком кисню (до 50%). Цей спосіб дозволяє видалити задирки з деталей будь-якої форми, з отворів невеликого діаметру, в місцях перетину каналів, тобто там, де є доступ до горючої суміші. Під час обробки не утворюються додаткові задирки. До переваг також відносять високу продуктивність, універсальність, гнучкість, можливість автоматизації процесу, стабільність результатів обробки, широкий спектр оброблюваних матеріалів за рахунок зміни співвідношення компонентів і маси горючої суміші. При застосуванні термохімічного методу одночасно з окисленням виплавляють задирки. Вихід продуктів згоряння з робочої камери здійснюється через 3 ... 10 секунд при зміні днища деталями. Тривалий контакт продуктів згоряння із заготовками призводить до їх охолодження та конденсації оксидів на поверхнях заготовок, оснастки та робочої камери.

На рисунку 2.1 представлено класичний вигляд сталевої деталі після термохімічної обробки.

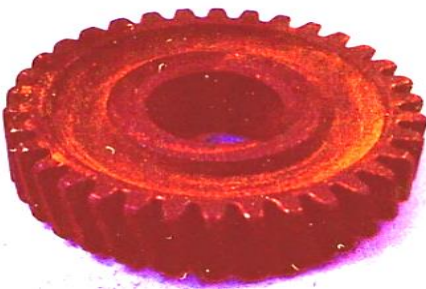


Рисунок 2.1 – Зубчасте колесо після термохімічного видалення задирок

Газодетонаційний метод відрізняється від термохімічного тим, що використовують детонаційні суміші без надлишку окислювача. При цьому методі задирки розплавляють одночасно з частковим окисленням [30]. На поверхнях деталей, крім оксидів, осідають розплавлені рідини у вигляді сферичних крапель, які видаляються повторним циклом з детонуючими стехіометричними газовими сумішами меншого тиску. Це негативне явище призводить до додаткового нагрівання деталей, подорожчання обробки та зниження терміну служби ущільнень змінних днищ робочої камери. Термоімпульсний метод відрізняється від термохімічного тим, що в ньому переважають теплофізичні процеси, а задирки та інші технологічні забруднення видаляються шляхом плавлення з подальшим контрольованим відведенням

продуктів згоряння з робочої камери до початку їх конденсації на поверхні заготовок. Цей метод розроблено для очищення поверхонь і кромek після механічної обробки високоточних деталей авіаційних вузлів і приладів, які характеризуються високою точністю та наявністю мікрочастинок, використанням високоміцних матеріалів, складною конфігурацією внутрішні і зовнішні поверхні, мінімальна вага та інші особливості.

На рисунку 2.2 наведено типовий вигляд частини агрегату літака після термоімпульсної обробки. До переваг методу відносяться гнучкість, висока продуктивність, поєднання очисних і фінішних операцій поверхонь і кромek, можливість обробки високоточних деталей складної форми, в тому числі деталей паливної апаратури і деталей годинникового механізму (рис. 2.3).

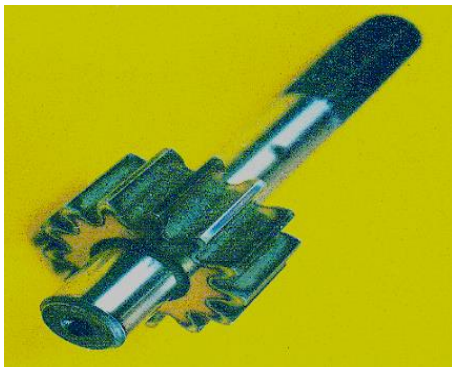


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд зубчастого колеса після механічної обробки

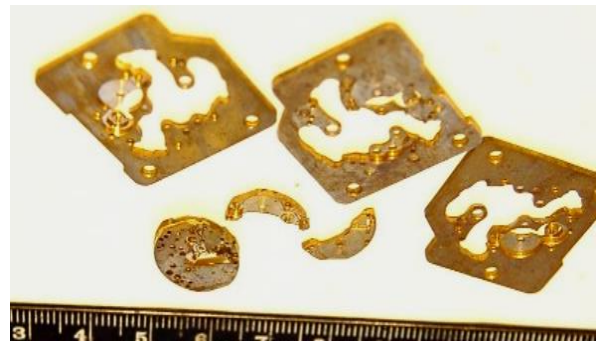


Рисунок 2.3 – Деталі годинникових механізмів після термоімпульсної обробки

Особливістю термоімпульсного методу є можливість видалення забруднюючих часток і задирок заданої товщини шляхом регулювання двох технологічних параметрів – щільності теплового потоку і часу нагрівання. Це дозволяє усунути пошкодження конструктивних елементів деталей шляхом саморегулювання процесу оплавлення.

Термоімпульсна обробка деталей гідравлічної та паливної систем дозволяє надійно очистити від первинних технологічних забруднень, у тому числі швидкозношувану частину мікронерівностей, що значно підвищує надійність і довговічність авіаційних гідропаливних агрегатів в експлуатації.

Технологічна підсистема термоімпульсної обробки включає процеси різної природи, що відбуваються в оброблюваних деталях і обладнанні. На кожен із цих процесів тією чи іншою мірою впливає безліч обставин, які наведені в таблиці 2.1.

При формуванні оптимальних умов обробки конкретних деталей необхідно вирішити суперечливе завдання – розплавити рідкі та знімні частини

деталей і уникнути негативних наслідків від впливу високотемпературних і агресивних продуктів згоряння газів. Такі умови можуть бути виконані узгодженням характеристик джерела нагріву і деталі з подальшою організацією процесу локального видалення рідин. Термоімпульсний метод дозволяє уникнути або мінімізувати негативні наслідки контакту продуктів згоряння з деталями, що обробляються за рахунок дозованого в часі теплового імпульсу.

Таблиця 2.1 – Фактори, що впливають на забезпечення оптимальної якості деталей та визначення режимів обробки

Деталь	Обладнання
температура плавлення	габаритні розміри камери згоряння та об'єм
питома теплота плавлення	хімічний склад горючої суміші
Теплопровідність	режим горіння газової суміші
Теплоємність	параметри продуктів згоряння
щільність матеріалу	щільність завантаження камери
розміри радіуса закруглення країв	площа поверхні камери згоряння, пристосувань і деталей
наявність тонкостінних елементів	обсяг кріплення і деталей
наявність різної товщини стінок	точність дозування компонентів газової суміші
наявність пересічних каналів	тиск горючої суміші
значення шорсткості	теплотворна здатність палива
вимоги до мікрорельєфу поверхонь	швидкість системи відводу продуктів згоряння
вимоги до початкової шорсткості поверхонь, що утворюють кромки	температура поверхні камери згоряння
вимоги до якості заокруглення кромки	
вимоги до акуратності та чистоти поверхонь	
габаритні розміри	
область поверхні	
Визначення оптимальних показників: час обробки, потужність джерела	Забезпечення оптимальних показників: час обробки, потужність джерела

Суть імпульсних технологій полягає в створенні умов, за яких енергії в джерелі імпульсу рівно стільки, скільки необхідно для виконання корисної роботи над частиною. В ідеалі енергія, яка доступна обладнанню, і необхідна для технологічного процесу повинні бути рівними. Нестача енергії виключає обробку, а надлишок – призводить до розплавлення більших елементів або пошкодження деталі. У роботах наведено встановлені закономірності зміни температури елементів деталі залежно від їх товщини та теплофізичних властивостей матеріалів за оптимального часу нагріву. Такі регулярні залежності індивідуальні для всіх матеріалів. Враховують теплофізичні особливості матеріалів і геометричні параметри елементів деталей. Конструктивні особливості деталей визначаються функціональним призначенням і відповідними вимогами до поверхонь і кромek, що неминуче призводить до необхідності корекції розрахункових залежностей (режимів) для матеріалів. Розрахункові режими обробки деталей є вихідними даними для налагодження обладнання.

Враховуючи особливості авіаційного виробництва та експлуатації обладнання, при розробці процесів термоімпульсної обробки необхідно виключити суб'єктивні фактори. Отже, систематизація та аналіз факторів, здійснений на основі фундаментальних законів теплофізики, термодинаміки, результатів досліджень детонаційного горіння газових сумішей, доповнений необхідними умовами для вирішення поставлених технологічних завдань, дозволив визначити науково обґрунтовані умови термоімпульсної обробки конкретних деталей.

Оптимізація технологічних режимів у вигляді температурних полів здійснюється шляхом розрахунку з використанням фізико-математичних моделей нагрівання рідин, термонапружених елементів і масиву деталей. Теплота, що підводиться від джерела енергії до деталі і видаляються елементів, визначається співвідношенням:

$$F \int_{t_1}^{t_n} \int_{q_1}^{q_n} dq dt = Q, \quad (2.1)$$

де F – площа поверхонь, що приймають тепло, q – щільність теплового потоку, τ – час обробки, Q – кількість тепла, що витрачається на нагрівання задирок (деталей, робочої камери, пристосувань).

Теоретично встановлено, що оптимальний час обробки реалізує умову мінімальної щільності теплового потоку (тепловитрати) і залежить тільки від теплофізичних властивостей матеріалу і товщини видаляється елемента. Температура елементів деталі залежить від величини теплового потоку

(потужності джерела нагріву) і часу нагріву. У роботах наведено приклади закономірних змін температури різних матеріалів від товщини елементів за оптимального часу обробки. Ці регулярні залежності є індивідуальними характеристиками кожного матеріалу і дозволяють задавати режими обробки матеріалу і, відповідно, технічні характеристики обладнання. Але для якісної обробки деталей слід враховувати конструктивні особливості деталей: наявність різної товщини стінок, тонкостінних елементів, вимоги до розмірів радіусів кромки, вимоги до чистоти поверхонь і мікрорельєфу, які визначають умови необхідної корекції режимів, як правило, у бік затягування за часом і точністю. Для забезпечення необхідної щільності теплового потоку, крім оптимального часу обробки, необхідно враховувати загальну площу поверхні, що контактує з продуктами згоряння. Процес термоімпульсної обробки завжди відбувається з надлишком теплової енергії, який пропорційний площі поверхонь, які приймають тепло. Тому для відведення надлишкової енергії обладнання для термоімпульсної обробки оснащено системою випуску продуктів згоряння з регульованою швидкістю. На рисунку 2.4 наведено типову осцилограму процесу термоімпульсної обробки, де фіксуються в часі процеси згоряння та відведення відпрацьованих газів, а також зміна температури.

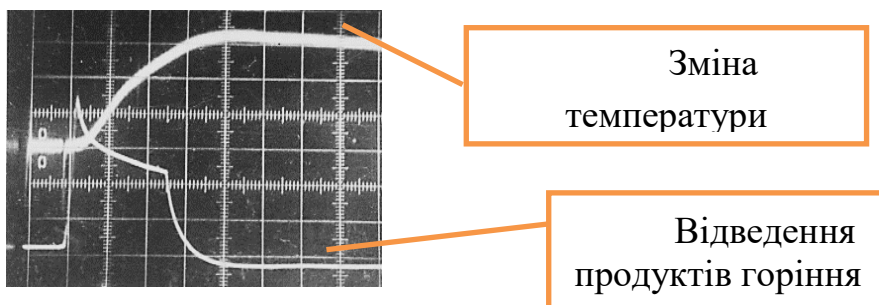


Рисунок 2.4 – Типова осцилограма термоімпульсного оброблення

Витрати енергії на плавлення чистих матеріалів є пороговими або максимальними для сплавів на основі цих металів. Для прикладу наведено енергоємність плавлення чавунних задирок і легованого сплаву на його основі. Ці дані дають змогу попередньо оцінити рівень енергетичних витрат на обробку деталей зі сплавів цих металів і значно спрощують експериментальне визначення параметрів зняття задирок на масивних деталях низької точності.

Але при відносно однаковій енергоємності процесів оплавлення задирок з різних матеріалів характеристики джерела тепла можуть кардинально відрізнитися за рахунок теплофізичних властивостей оброблюваних матеріалів і конструктивних особливостей деталей. Наприклад, витрати тепла на оплавлення

заусенців однакового розміру для міді і титану практично однакові, а коефіцієнти теплопровідності цих матеріалів відрізняються в 20 разів. На рисунку 28 зображено типовий принцип роботи імпульсного джерела тепла та зміну температурного поля мідної болгарки в часі. На рисунку 2.4 показано зміну температурного поля з часом для титанового бора такого ж розміру, як і мідний. Час, за який титановий фрез може розплавитися по всій своїй товщині, більш ніж у десять разів повільніший, ніж мідний. Для обладнання, яке реалізує ці технології, повинні бути виконані наступні умови – з одного боку, забезпечити тривалість роботи джерел імпульсу, а з іншого – швидкість скидання надлишкової теплової енергії (продуктів згоряння відходів).

Якщо знятий елемент деталі не розігрівся, а, відповідно, не оплавився, по всій товщині, то зняття не відбудеться. Але якщо час інтенсивного (імпульсного) нагріву більше оптимального, то елементи деталі більшої товщини розплавляться або пошкоджуються, що, враховуючи конструктивні особливості деталей та вимоги до надійності агрегатів літака, є неприпустимим. Застосування джерела імпульсного нагріву для оплавлення знімних елементів деталей дозволяє розширити сферу застосування детонуючих газових сумішей як за номенклатурою деталей і матеріалів, так і в технологічних процесах.

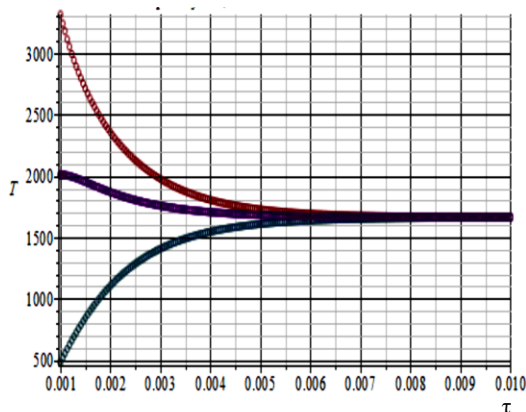


Рисунок 2.5 – Імпульсний нагрів титанового заусенця

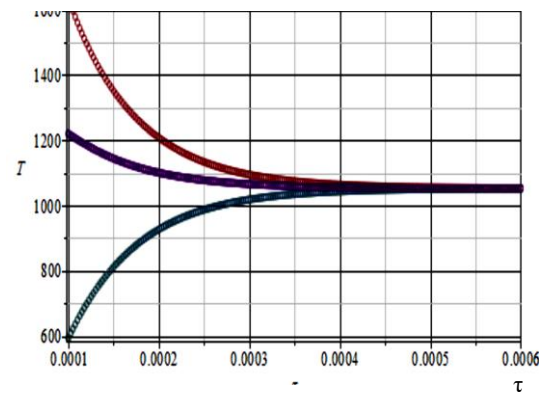


Рисунок 2.6 – Імпульсний нагрів мідного заусенця

При виборі режимів термоімпульсної обробки вирішується суперечлива задача – розплавлення видаленого елемента і збереження деталі в початковому стані. Для видалення задирки або елемента деталі заданого розміру і мінімального нагрівання деталі необхідно знати час їх нагріву-оплавлення. У роботах встановлено закономірні зміни температури елементів деталі в залежності від їх товщини і теплофізичних властивостей матеріалів при

оптимальному часі нагріву. Такі залежності розраховуються і будуються для кожного матеріалу окремо. Для визначення режимів обробки конкретних деталей умова необхідна, але недостатня. Особливо це стосується деталей агрегатів аерокосмічної техніки. Підвищені вимоги до промислової чистоти, надійності, точності деталей, їх мінімальної ваги, складної конфігурації зовнішніх і внутрішніх поверхонь корпусних деталей - все це зобов'язує шукати технологічні шляхи підвищення якості виробів, що виключають суб'єктивні фактори. Теплофізичні властивості матеріалів і розміри рідин визначають енергоємність процесу їх оплавлення, але не гарантують високої якості обробки поверхонь і кромок деталей. Необхідність створення високої щільності теплового потоку в імпульсному режимі використовує горючу суміш зі значним надлишком теплової енергії (пропорційною загальній площі поверхні, що контактує з продуктами згоряння). Імпульсне теплопостачання становить 10 ... 30% від загальної кількості теплової енергії. Наступною групою факторів, що характеризують деталь, є вимоги до точності, чистоти поверхні, товщини стінки, площі поверхні та маси, вимоги до закруглення гострих країв. Ця група параметрів звужує діапазон параметрів процесу, як за часом, так і за потужністю джерела тепла. Вимоги до чистоти поверхні обмежують час контакту продуктів згоряння з деталями охолодженням до температури конденсації оксидів. Так, точність деталей визначає вимоги до умов їх фіксації в приладі, вимоги до чистоти поверхонь – умови виділення продуктів згоряння. Наявність тонкостінних елементів і сполучених елементів різної товщини призводять до уточнення вимог до точності контрольованих параметрів обладнання, величини тиску горючої суміші. При наявності каналів, в тому числі пересічних, необхідно враховувати інтенсивність підведення тепла імпульсним джерелом. При виборі режимів необхідно враховувати наявність тонких перегородок і стінок в деталях, ця обставина особливо важливо, якщо матеріал деталі має високу теплопровідність. Для деталей з алюмінієвих і мідних сплавів неправильно підібрані режими можуть призвести до так званих відколів.

Якщо фактори, що характеризують деталь, диктують режими обробки, то фактори, пов'язані з джерелами тепла, визначають технологічні можливості обладнання. Обробка деталей із заданою якістю можлива при відповідності характеристик обладнання умовам технологічного процесу. Склад горючої суміші, точність дозування і її параметри, вільний об'єм робочої камери, режим горіння суміші, площа поверхні камери і приладу, ступінь завантаження камери визначають кількість горючої суміші, термальна енергія. Хімічний склад горючої суміші, розміри камери та швидкість відводу продуктів згоряння в

системі визначаються контролем параметра часу. Як зазначалося раніше, в умовах виготовлення авіаційних агрегатів доцільно використовувати імпульсне джерело теплової енергії, що відповідає періоду затухання ударної хвилі в робочій камері. Відомо, що швидкість детонації в газах постійна і залежить від хімічного складу горючої суміші, а період згасання наступних ударних хвиль залежить від розмірів робочої камери. Для забезпечення необхідної щільності теплового потоку регулюють тиск горючої газової суміші. Максимальні тиски горючої суміші обмежені міцністю конструкції обладнання. Тому ступінь завантаження об'єму камери, площа тепловідвідних поверхонь і точність їх визначення, точність дозування горючої суміші є важливими параметрами, які впливають на якість обробки. Час обробки регулюється як хімічним складом горючої суміші, так і розмірами робочої камери. Швидкість системи відводу продуктів згоряння забезпечує режим теплового впливу на деталь: імпульсний, змішаний або з переважанням джерела тепла постійної потужності. Режим відведення продуктів згоряння істотно впливає на забруднення поверхонь оксидами, які конденсуються з газового середовища.

Термоімпульсний метод дозволяє регулювати тривалість теплового імпульсу, що дає можливість обмежити максимальну товщину видалених рідин без зміни вихідного стану деталі. Це розширило область застосування детонуючих газових сумішей як за номенклатурою деталей, так і за кількістю реалізованих технологічних процесів. На рисунках 2.7 і 2.8 показано фрагменти зубчастих коліс у вихідному стані та із заокругленими краями та їх початкову та величину мікронерівності поверхонь після термоімпульсної обробки. На рисунку 2.7 показано фрагмент корпусної деталі з алюмінієвого сплаву до і після закруглення кромки в місці перетину різьбових отворів.

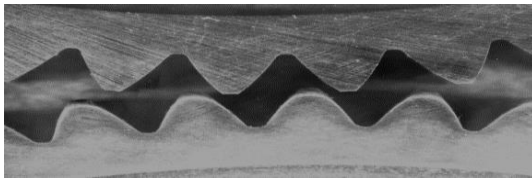


Рисунок 2.7 – Фрагменти зубчастих коліс до і після термоімпульсної обробки

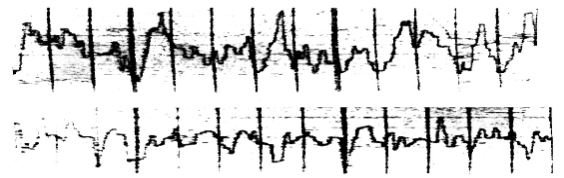


Рисунок 2.8 – Оригінальний і носостійкий мікрорельєф поверхонь цих шестерень



Рисунок 2.9 – Корпусна частина зі сплаву AL 9 до (а) і після (б) видалення рідин і заокруглення кромки на різьбових отворах

Використовуючи фактори, що характеризують деталі, стало можливим поєднати операції зняття задирок, фінішної обробки поверхні, видалення швидкозношуваної частини мікрорельєфу, заокруглення кромки деталей з матеріалів з високою теплопровідністю шляхом оптимізації режимів обробки для збереження початкової якості матеріалу деталей (рис 2.9).

Порівняльний аналіз вартості зняття задирок з однієї деталі показав, що вартість зняття задирок з однієї деталі термоімпульсним методом в 2,2 рази менша, ніж у закордонного аналога.

2.2 Дослідження методу (ЕХО)

Аналізуючи дані таблиці 2.2, допуск овальності, конусності та биття робочих поверхонь відносно центрів складає 0,002 мм. Для досягнення такої точності виробництво має бути оснащено прецизійними верстатами і з використанням багатьох технологій: механічної та різних видів термічної обробки, а також хімічних або електрохімічних процесів та контролю якості.

Особливої уваги заслуговують останні електрохімічні процеси, що виконуються на передостанніх етапах виготовлення високоточних деталей типу золотник і стають на заміну ручної та шліфувальної обробки. Це дозволить зменшити трудомісткість виготовлення, підвищити точність виконання розмірів, зменшити кількість контрольних операцій в порівнянні з ручною механічною обробкою, що неодмінно вплине на собівартість продукції

Таблиця 2.2 - Допуск основних показників геометричної точності елементів деталі типу золотник.

Елемент деталі	Величина допуску, мм
Кромки:	
зовнішні	0,1...0,4
внутрішні	0,2...0,4
робочі поверхні	-0,1
Биття поверхонь	0,02
Овальність і конусність	0,002
Робочі поверхні відносно центру	биття 0,002
Поверхні канавок відносно робочої поверхні	биття 0,05
Зазор золотникової пари	0,002...0,004

Метою експерименту є зменшення шорсткості поверхонь та округлення кромки високоточних деталей типу золотник за короткий час (до 10-11 хвилин) шляхом реалізації принципів суперфінішної обробки електрохімічних процесів.

Завданням досліджень була одночасна обробка всіх поверхонь, кромки і канавки зразка високоточної деталі типу золотник електросуперфінішним методом сфокусованим струмом.

Задачу комплексної обробки високоточних деталей вирішують в роботі, в якій досліджено зменшення показників шорсткості R_a на зовнішній поверхні циліндричних заготовок, виготовлених з немагнітних матеріалів, і розглядається новий метод, заснований на ефекті магніточутливої (магнітокерованої) розумної рідини. Зразки в цьому дослідженні виготовлені з алюмінію як відомий і розповсюджений в конструкціях літальних апаратів різновид немагнітних, м'яких і легких матеріалів. Апарат, який використовувався для цього експерименту, включає два основних рухи. Перший – це використання прямолінійного змінного руху для покращення умов обробки, а другий – обертальний рух зразка. Незважаючи на позитивні результати, отримані в роботі проблемною є обробка таким методом деталей з магнітних матеріалів.

Технологія для обробки високоточних деталей авіаційного виробництва електрохімічною обробкою (ЕХО) є більш поширена. Особливими перевагами ЕХО перед іншими схожими електричним методами є простота додавання великих сил струму, що забезпечують високу продуктивність, майже повну відсутність зносу інструмента, порівняно високий клас чистоти обробленої поверхні. Для виконання ЕХО виготовляють спеціальні пристосування, у які входять електроди інструменти, що копіюють форму розташування гострих крайок на деталі. При цьому деталь є анодом, електрод – катодом, а в зазор між електродом і гострими крайками подається електроліт – водний розчин хлористого натрію *NaCl*, бромистого калію *KBr* тощо. Недоліком ЕХО за такими схемами є складність забезпечення стабільності процесу обробки, що в свою чергу впливає на точність. Однак, незважаючи на цей недолік, ЕХО застосовують для видалення задирів і округлення гострих кромки на зубах шестерень, шліцевих валиках, у важкодоступних місцях деталей паливної апаратури, прошивання отворів та ін.

Найбільше поширення одержала операція електрохімічного формоутворення для обробки профілю пера робочих лопаток парових і газових турбін, в основному з важкооброблюваних сплавів. Профіль пера обробляється одночасно з двох сторін лопатки двома електродами-інструментами зі сталі Х18Н9Т, що мають форму лопатки. У зазор між електродами й оброблюваними поверхнями лопатки під тиском 5...6 МПа прокачується електроліт щільністю 1,10...1,20. Однак отримана точність обробки в цьому випадку досить не велика і складає 0,2...0,4 мм.

ЕХО метод використовують для прошивання отворів різних форм, прорізів і вікон порожніми електродами, як правило, із внутрішнім підведенням електроліту, що виводиться через бічний міжелектродний зазор. Точність таких операцій також є невисокою при низькій якості поверхонь отвору.

ЕХО на сьогодні є практично єдиним методом прошивання глибоких отворів малого діаметра, наприклад, охолоджуваних каналів у важкооброблюваних жароміцних матеріалах робочих лопаток газових турбін. Отвір діаметром 0,4...1,6 мм прошивають на глибину до 300 мм на спеціальній установці. Як електрод-інструмент використовують тонкостінні трубки зі сталі Х18Н9Т з ізоляційним покриттям полімерними емаллями. Процес прошивання здійснюється при обертанні електрода (8...15 об/хв) з метою усунення його відведення. Електроліт подається в електрод під тиском 20...100 МПа, напруга на електродах 18...22 В, щільність струму 6 А/мм². Подача електрода складає

1,5...12 мм/хв. Вимоги щодо точності форми отворів залежить від точності обробки торця електрода й досягає $\pm 0,025$ мм.

Мікроелектроерозійна обробка (МЕЕО) відіграє значну роль у світі мініатюризації, особливо в мікроелектромеханічних системах, біомедичних пристроях, мікроштампах тощо. Мікроелектроерозійне фрезерування є варіантом МЕЕО, що використовується для створення складних 3D-об'єктів за допомогою інструменту простої форми. Механізм видалення матеріалу МЕЕО залежить від електротеплової енергії між електродом інструменту та деталлю. МЕЕО як процес безконтактної обробки, призводить до створення мініатюрних елементів у важкооброблюваних матеріалах. Точність такої обробки теж не є високою.

Для підвищення точності деталі та зменшення шорсткості її поверхонь використовується суперфінішування. Суперфінішування або мікрохонінгування, як його називають деякі автори – процес шліфування, який використовується для зовнішнього очищення поверхні деталей циліндричної, плоскої та сферичної форми. Це не процес зміни розмірів, але в основному використовується для виготовлення готових поверхонь найвищої якості. Видаляється лише незначна кількість матеріалу (2-30 мкм), що представляє шорсткість поверхні. Процес хонінгування включає два основних рухи, тоді як суперфініш вимагає трьох і більше рухів. В результаті цих рухів шлях абразиву є випадковим і ніколи не повторюється. Слід відзначити, що суперфінішування впливає тільки на мікрогеометрію деталі. Бруски зернистості притискаються до оброблюваної поверхні зі слабким зусиллям 1...3 МПа. Швидкість обертання заготовки $v = 0,05...3,0$ м/с, коливання інструмента 2...6 мм, число подвійних ходів 200...1000 у хвилину. Переміщення інструмента уздовж поверхні здійснюють зі швидкістю, що виключає проходження абразиву по тому самому місці двічі. Як змащення використовують газ із маслом. Припуск складає 0,005...0,007 мм, який призначають в полі допуску шліфування. Суперфінішування дозволяє одержати шорсткість R_a , що становить 0,16 мкм. При досягненні визначених показників опорної поверхні масло-газова плівка перестає руйнуватися на мікроплощах шорсткостей і знімання металу припиняється. Процес різання автоматично припиняється в міру збільшення площі опорної поверхні в результаті стирання мікронерівностей поверхні, що піддається суперфінішуванню. Так, в роботі [16] доведено, що поверхнева шорсткість зменшується за перші 10 с на 57,9%, другі – 17,6%, треті – 12,9%, четверті – 2,3%.

Скріплений абразивний камінь, робоча поверхня якого відповідає формі поверхні деталі, піддається дуже легкому тиску. Короткий високочастотний хід,

накладений на зворотно-поступальну траверсу, використовується для обробки великих відрізків. Розмір зернистості вибирається для різних матеріалів з широкого діапазону (60-1000), щоб відповідати ситуації обробки, яка варіюється від грубої обробки до тонкої або надзвичайно тонкої обробки. Ширина каменю становить від 60% до 80% діаметра деталі, але не більше 25 мм. Для деталей діаметром понад 150 мм влаштовують кілька камінців. Ця довжина дещо менша за робочу довжину, але не більше ніж у три рази перевищує ширину каменю. Для обробки довгих деталей реалізують додаткове переміщення траверси. Зазвичай для отримання точних виробів призначають швидкість в межах 30-60 м/хв, але для чистової обробки використовують вищу швидкість – 120 м/хв. При більш низьких швидкостях роботи в процесі суперфінішування зазвичай утворюється виразний заштрихований візерунок, який може бути бажаним у багатьох застосуваннях, незважаючи на низьку відбивну здатність поверхні.

При суперфінішуванні завжди обертається деталь тоді, як у хонінгуванні – інструмент. Швидкий зворотно-поступальний рух брусків за короткий хід – основна характеристика, що відрізняє суперфінішну обробку від хонінгування. У деяких машинах використовується довжина одиночного ходу 4,76 мм, тоді як інші забезпечують змінну довжину ходу в діапазоні приблизно 2-5 мм. Фактична лінійна швидкість коливань є функцією довжини ходу (амплітуда) та швидкості зворотно-поступального руху (частота). Типові крайні швидкості поворотно-поступального руху становлять 3-20 м/хв. Багата кількість параметрів процесу суперфінішування ускладнює його використання для комплексної обробки деталей, тому цей метод знайшов своє поширення в основному для покращення якості тільки робочих поверхонь деталей з високою точністю.

Таке різноманіття операцій і технологій ускладнює виробництво та збільшує вартість виробу, де в результаті обробка кромки, канавки та операції пасивування та очищення виконуються з використанням інших процесів. Альтернативою є дослідження, представлені в авторів даної статті, де запропоновано єдину комплексну конвергентну технологію отримання високоточних деталей авіаційного виробництва, яка поєднує кілька одиничних технологій. Однією з них є електросуперфінішування, суть якої полягає у використанні фокусованого електрода, який направлено діє по твірній деталі, що обертається з великою швидкістю навколо своєї осі у електролітичному розчині. Велике значення при цьому приділяється сумісній обробці як робочих поверхонь деталі, так і досягнення необхідної геометричної точності її поверхонь, а також необхідного стану кромки, які мають дуже важливу роль у функціонуванні деталей, наприклад, золотникових пар. Позитивні результати такої операції

представлені у роботі авторів на простій циліндричній формі деталі. Експеримент дозволив установити, що є:

можливість збільшення щільності струму за рахунок зменшення ширини катодного зазору;

використання джерела постійного струму замість імпульсного, досягаючи при цьому ефект полірування;

легке видалення продуктів окислення, зберігаючи чистоту поверхні деталей;

інтенсивне перемішування розчину та формування стабільного розміру оксидної плівки.

Тому є актуальним продовжити дослідження за електросуперфінішем сфокусованим током, представленої в роботах на деталях з канавками з метою імітації обробки золотників.

2.3 Експериментальні дослідження

Дослідження проводилось на макетах золотника діаметром 8 мм з нержавіючої сталі, зразок якого представлено на рис. 2.10. На кромках золотника при формуванні канавок штучно було створено мікрозадирки різного характеру, які найчастіше трапляються при виробництві подібних деталей. Досліджувалась шорсткість робочих поверхонь після обробки на кожному інтервалі, округлення кромки робочих поверхонь золотника до і після обробки, а також видалення задирок на робочих поверхнях золотника.



Рисунок 2.10 – Геометричні дані зразка типу золотник

Експериментальні дослідження проводили на установці для електрохімічної обробки деталей невеликих габаритів у стаціонарному електроліті моделі ЕЗІ-2М. Обробка зразка у ванні методом електросуперфінішу проводилась з інтервалами часу від 1 до 11 хвилин з частотою 500 обертів деталі на хвилину при температурі розчину 30°C та величині струму 1 А. Фото обробки зразка у ванні методом електросуперфініша надано на рис. 2.11.

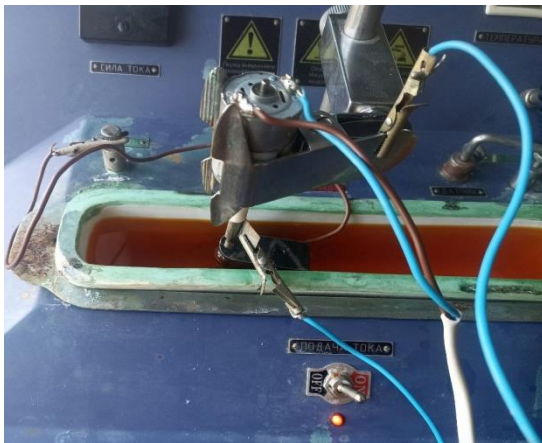


Рисунок 2.11 – Обробка зразка у ванні електросуперфінішем сфокусованим током

Розчин електроліту об'ємом 1 л складався з ортофосфornoї кислоти 650 мл, сірчаної кислоти 150 мл, хромового оксиду 60 г та води 140 мл. Концентрація кислоти становила 44 %.

На рисунку 4 надано графік зміни шорсткості робочих поверхонь зразка після кожного етапу обробки за часом, що мали різну початкову шорсткість. Заміри шорсткості виконувалися за допомогою прибору TMR-120.

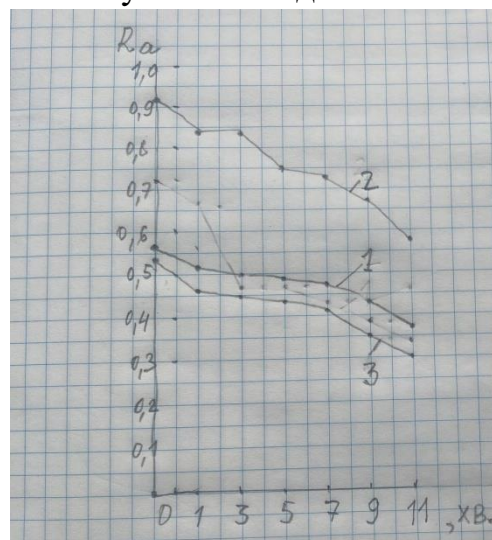


Рисунок 2.12 – Графік зміни шорсткості при електросуперфінішуванні поверхонь: 1, 2, 3 – поверхні з різною початковою шорсткістю

Проведені дослідження дозволили встановити, що шорсткість більш інтенсивно зменшується на першій хвилині обробки, при цьому більша початкова шорсткість $Ra\ 0,9$ краще зменшується ніж та, що мала початкову невелику шорсткість $Ra\ 0,6$. Але в цілому для всіх поверхонь спостерігається однакова тенденція зменшення шорсткості, яка становить в середньому $0,2\dots0,25$ мкм за 10-11 хвилин.

Дослідження проводилось також щодо якості поверхонь деталі та кромки, які утворювались на межах перетину робочих поверхонь золотника і поверхонь канавок, які утворювались при механічній обробці цих поверхонь.

Аналіз отриманих результатів дозволив установити ефективні зміни в якості всіх поверхонь, канавок та кромки, які утворювались на межах перетину робочих поверхонь дослідного зразка типу золотник. В ході експерименту видно характерний здвиг кромки, утворений при формуванні канавки і її зменшення після електросуперфінішної обробки майже в 2 рази. З експерименту досить ясно видно утворення задирок вдовж кромки після механічної обробки і їх розчинення після обробки. Цей факт підтверджується і утворенням канавок. Видно по кромках канавки присутні задирки, які зникли після обробки. Цей факт доводить закруглення гострих кутів кромки, що є результатом концентрації щільності току у місцях загострення форми або її локалізації. Максимальна нерівність робочої поверхні коливається в межах $376\dots638$ нм до обробки та $432\dots545$ нм після обробки. Ці дані добре погоджуються з даними таблиці 1.

Таким чином запропонований процес сумісної обробки робочих поверхонь високоточних деталей типу золотник, які мають дуже важливу роль у функціонуванні паливної, гідравлічної та пневматичної систем, систем керування та механізації органів управління систем літальних апаратів, дозволяє за одну технологічну операцію досягти необхідних геометричної точності і стану кромки. Показники шорсткості та геометрія регулюються часом обробки (рис. 2.12), де ефективність процесу реалізується на перших хвилинах обробки при одночасному поліпшенні шорсткості робочих поверхонь, закругленні кромки та ліквідації мікрозадирок після механічної обробки.

Подальші дослідження мають бути на зношених високоточних деталях з контролем геометрії, шорсткості, структури матеріалу тощо. Отримані дані можуть послужити основою для створення рекомендацій щодо створення технології відновлювального ремонту таких деталей.

2.4 Висновки технологічного розділу

Отримані результати експериментів підтвердили позитивність досліджень робіт, що набули продовження на зразках високоточних деталей типу золотник. Так завдяки використанню нової електросуперфінішної обробки сфокусованим струмом можна скоротити операції на видалення задирок, досягти скруглення кромки, покращити шорсткість, а також в певних зонах доводити розміри діаметрів робочих поверхонь з точністю 0,001 мм.

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Техніко-економічна оцінка результатів досліджень

Розрахунок техніко-економічних показників проведених досліджень та методів інженерних розрахунків необхідно проводити не тільки з врахуванням економічного ефекту від впровадження нового обладнання або технології, але і враховувати результати досліджень з обґрунтування структурних параметрів технічного стану деталей та їх нормування, що дає можливість визначити дійсний роботоздатний стан агрегату або деталі, уникнути необґрунтованих вібракувань об'єктів виготовлення. Економічна оцінка проектних рішень розраховується з врахуванням показників надійності золотників, на основі яких визначається технічний, їх дійсний технічний стан та удосконалюється технологія та організація виробничого процесу з їх виробництва. Техніко-економічну оцінку виконаних дій будемо визначати з урахуванням того, що в процесі технічного переозброєння будівельні роботи не велися, а капітальні вкладення визначаються вартістю придбаного обладнання.

$$N_3 = 1800 \text{ прим};$$

$$NM_{\text{коло}} = 0,3 \text{ кг};$$

$$ЦМ_{\text{коло}} = 269,2 \text{ грн/кг};$$

Вартість основних матеріалів, витрачених на виготовлення виробу, визначається за такою формулою:

$$PM = NM \cdot ЦМ(1+НТ/100), \quad (3.1)$$

де: PM – витрати на сировину та матеріали, NM – маса виробу, $ЦМ$ – вартість матеріалу, $НТ$ – технічні немінучі витрати

$$PM_{\text{коло}} = 0,3 \cdot 269,2 (1+2/100) = 1470,58 \text{ грн}, \quad (3.2)$$

Основну заробітну плату виробничих робітників для виробу обчислюють за такою формулою:

$$T_{\text{сум}} = T \cdot СНС, \quad (3.3)$$

де $СНС$ - середня годинна ставка, T - трудомісткість виготовлення виробу.

$$СГС = \sum(ЧПР \cdot НС) / \sum ЧПР, \quad (3.4)$$

Таблиця 3.1 – Посадові оклади та єдина тарифна сітка

Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Посадові оклади		
		2022		2023
		грудень	січень - вересень	листопад - грудень
1	1	2893	2893	2982
2	1,09	3153	3153	3250
3	1,18	3414	3414	3519
4	1,27	3674	3674	3787
5	1,36	3934	3934	4056
6	1,45	4195	4195	4324
7	1,54	4455	4455	4592

Тарифна ставка листопад - грудень 2023 для токаря 4 розряду, відповідно до посадових окладів і єдиної сітки 2023:

$$3787/21/8=22,54 \text{ нормогодин}$$

Таблиця 3.2 – Дані для розрахунку середнього розряду та середньо-годинної ставки основних робітників

Розряд робіт, Р	Кількість робочих, ЧПР чол.	Годинна ставка ЧС, грн./ нормо-г	Р · ЧПР	ЧПР · НС
Токар	13	28	52	364
Слюсар механозбірних робіт	4	28	16	112
Майстер-шліфувальник	5	28	20	140
Терміст	7	28	28	196
Слюсар-інструментальник	6	28	24	168
Гальванік	14	28	56	392
Контролер-лаборант	6	28	24	168
Всього:	55	X	220	1540

$$\text{ЧС} = 22,54 \cdot 1,27 = 28,46 \approx 28$$

$$\text{СЧС} = (55 \cdot 28)/55 = 28 \text{ грн}$$

Трудомісткість – це сума річної трудомісткості основного обладнання цеху.

$$T = 2080;$$

Основну заробітну плату виробничих робітників обчислюють за формулою:

$$\text{ОЗПР} = T \cdot \text{СЧС} = 23,125 \text{ грн.} \quad (3.5)$$

Додаткову заробітну плату виробничих робітників обчислюють за формулою:

$$\text{ДЗПР} = (\text{НДО}/100) \cdot \text{ОЗПР}, \quad (3.6)$$

де коефіцієнт НДО визначає величину додаткової заробітної плати щодо основної.

$$\text{ДЗПР} = (25/100) \cdot 23,125 = 5,781 \text{ грн.}$$

Нарахування до фонду ЄСВ на заробітну плату виробничих робітників, що включається, собівартість виробу, розраховують у відсотках від ОЗПР та ДЗПР за такою формулою:

$$\text{ЄСВПР} = (\text{ОЗПР} + \text{ДЗПР}) \cdot \text{НЕСВ}/100, \quad (3.7)$$

де НЕСВ - норматив відрахувань до фонду ЄСВ

$$\text{ЄСВПР} = (23,125 + 5,781) \cdot 0,22 = 6359,32 \text{ грн.}$$

Змінні загальновиробничі витрати ПЕР, що приходять на один виріб визначають за формулами:

$$\text{ПЕР} = \text{ОЗПР} \cdot \text{НПЕР}/100, \quad (3.8)$$

$$\text{НПЕР} = \text{ДПЕР} \cdot 100/\text{ОЗПР}, \quad (3.9)$$

де ДПЕР - річні змінні загальновиробничі витрати цеху. НПЕР відповідний норматив = 40%

$$\text{ПЕР} = 23,125 \cdot 40/100 = 9250 \text{ грн.}$$

Постійні загальновиробничі витрати ПР, які припадають на один виріб визначають так:

$$\text{ПоР} = \text{ОЗПР} \cdot \text{НПОР}/100 \quad \text{НПОР} = \text{ДПОР} \cdot 100/\text{ОЗПР}, \quad (3.10)$$

де ДПЗР - річні змінні загальновиборничі витрати цеху. НПОР відповідний норматив = 45%

$$\text{ПоР} = 23,125 \cdot 45/100 = 10406 \text{ грн.}$$

Витрати на підготовку та освоєння виробів визначають нормативом від матеріальних витрат та основної зарплати виробничих робітників:

$$\text{РОП} = (\text{РМ} + \text{ОЗПР}) \cdot \text{НОП}/100, \quad (3.11)$$

де НВП - норматив витрат на підготовку та освоєння виробництва.

$$\text{РВП} = (3742,141 + 23125) \cdot 15/100 = 4029,92 \text{ грн.}$$

Виробничу собівартість розраховують за формулою:

$$\text{СПр} = \text{РМ} - \text{ВО} + \text{ОЗПР} + \text{ДЗПР} + \text{ЕСВПР} + \text{ПЕР} + \text{ПОР} + \text{РОП}, \quad (3.12)$$

Усі доданки були знайдені вище.

$$\begin{aligned} \text{СПр} &= 3742,141 - 285,75 + 23125 + 5781 + 6359,32 + 9250 + 10406 + 4029,92 \\ &= 62407,631 \text{ грн.} \end{aligned}$$

3.2 Визначення повної собівартості одиниці виробу

Повна собівартість виробу розраховується за трьома складовими:

$$\text{СПО} = \text{СПр} + \text{АР} + \text{РС}, \quad (3.13)$$

де АР – адміністративні витрати підприємства, РС - витрати пов'язані зі збутом виробів покупцем. Адміністративні витрати розраховують за нормативами НА від основної зарплати виробничих працівників.

$$\text{АР} = \text{ОЗПР} \cdot \text{НА}/100, \quad (3.14)$$

$$\text{АР} = 23125 \cdot 15/100 = 3468,75 \text{ грн.}$$

Витрати на збут розраховують за нормативом СР від виробничої собівартості виробу:

$$\text{РС} = \text{СПр} \cdot \text{НС}/100, \quad (3.15)$$

$$\text{РС} = 66743,311 \cdot 1,5/100 = 1001,149 \text{ грн.}$$

$$\text{СПО} = 62407,631 + 3468,75 + 1001,149 = 66877,53 \text{ грн.}$$

Після розрахунку повної собівартості виробу необхідно назначити планову оптову ціну на виріб без податку на додану вартість.

Розрахунок собівартості та призначення ціни слід також представити у вигляді таблиці.

Таблиця 3.3 – Собівартість і ціна виробу

Найменування показників	Розмір, грн.
Витрати на сировину та матеріали	3742,141
Основна зар. плата виробничих робітників	23125
Додаткова пара. Плата виробничих робітників	5,781
Нарахування до фонду ЄСВ на заробітну плату виробничих робітників	6359,32
Змінні загальновиробничі витрати	9250
Постійні загальновиробничі витрати	10406
Витрати на підготовку та освоєння виробництв	4029,92
Разом: Виробнича собівартість	62407,631
Адміністративні витрати	3468,75
Витрати на продаж	1001,149
Разом: повна собівартість	66877,53
Найменування показників	Розмір, грн.
Ціна виробу (оптова)	70000

3.3 Висновки економічного розділу

Проведені розрахунки техніко-економічної ефективності з впровадження технології використання нової електросуперфінішної обробки сфокусованим струмом можна скоротити витрати на додаткові операції та подовжити строк дії виробів в три або чотири рази, тим самим досягти суттєвої економії коштів, що при запланованій програмі випуску 1800 гідравлічних агрегатів, які в своїй конструкції мають золотники оброблені за новою методикою, на рік рівень рентабельності становить 44,8 %, загальний прибуток становить 206173,9грн., а строк окупності матеріальних витрат 1,2 роки, що вказує на доцільність проведених досліджень .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аксенов А. Ф. Износостойкость авиационных топливно-гидравлических агрегатов [Текст] / А. Ф. Аксенов, В. Н. Лозовский – М.: Транспорт, 1986. – 240 с.
2. Основні положення повітряного кодексу України та норм льотної придатності літаків транспортної категорії – Навч. посібник / Є. Т. Василевський, В. А. Гребеніков, В. Н. Ніколаєнко – Х.: Нац. аерокосм. ун -т «ХАІ», 2006. – 322 с.
3. Состояние проблемы промышленной чистоты машин и механизмов – Навч. посібник / А. В. Лосев, И. В. Бычков, А. М. Григорович, Н. И. Бычков – Х.: Нац. аерокосм. ун -т «ХАІ», 2017 – 67 с.
4. Жданов, А. А. Обзор достижений в области термоимпульсных и термохимических отделочно-очистных технологий. [Текст] / А. А. Жданов, А. В. Лосев // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аерокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 37 (2) – Х., 2004. – С. 109–118.
5. Розробка технологій та технічних рішень для автоматизованих промислових установок прецизійної обробки деталей агрегатів гтд детонуючими газовими сумішами - звіт про науково-дослідну роботу / О. Шипуль С. Планковський - Х.: Нац. Аерокосм. Ун -т "ХАІ" 2020 р. - 322 с.
6. Розроблення автоматизованого комплексу для прецизійного термоімпульсного оброблення детонувальними газовими сумішами: наукові матеріали [Текст] : монографія / С. І. Планковський, О. В. Шипуль, Є. В. Цегельник, О. В. Трифонов, К. В. Коритченко, О. О. Баранов, Ю. О. Сисоєв, В. О. Гарін, Є. О. Аксьонов, В. В. Комбаров, С. О. Заклінський ; за ред. С. І. Планковського. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 318 с.
7. Агрегаты гидроприводов сельскохозяйственной техники. Технические требования на капитальный ремонт [Текст] / - М.: ГОСНИТИ, 1981 - 160 с
8. Башта Т. М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. [Текст] / Т. М. Башта - М.: Машиностроение, 1974.-606 с.
9. Лозовский В.Н. Схватывание в прецизионных парах трения. [Текст]./ В. Н. Лозовский - М.: Наука, 1972.-83с.
10. Воронов С. А. Исследование изменений стыкового зазора в распределительном узле аксиально-поршневой гидромашины [Текст] / С.А. Воронов, А. Н. Густомясов, А. Ю. Рыбаков, Е. П. Тетерин // Известия ВУЗов. Машиностроение. 1987. №10. С.77 81.

11. Башта Т. М. Надёжность гидравлических систем воздушных судов. [Текст] / Т. М. Башта, В. Д. Бабанская - М.: Транспорт, 1986.-279 с.
12. Харламов, Ю. А. "Развитие детонационно-газовых технологий." Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля 7 (2017): 114-132.
13. Економіка підприємства : підручник / за ред. С. Ф. Покропивного. Київ: КНЕУ, 2006. 528 с.
14. Набатов А. С. Технологічне проектування ділянок та цехів: навч. посібник з курсів та диплом. проектування – Х.: Нац. аерокосм. унів-т, «ХАІ», 2003. – 81 с.
15. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010 – 245 с
16. Тихомиров В.А. Основи проектування літакобудівних заводів та цехів. – М.: Машинобудування, 1975.
17. Точилин П. В., Сагателян Г. Р., Назаров Ю. Ф. Методика расчета экономической эффективности внедрения наукоемких технологий // Новые технологии XXI века. 2001. № 1. С. 29–34.
18. Воробйов, Ю. А. Правила оформлення навчальних і науково-дослідних документів [Текст] : навч. посіб. / Ю. А. Воробйов, Ю. О. Сисоєв. – 4-те вид., випр. і доп. - Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. С. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 88 с.
19. Суперфиниширование // Инструменты из сверхтвёрдых материалов / Н. В. Новиков, С. А. Клименко. — 2-е. — М.: «Машиностроение», 2014. — С. 423. — 608 с.
20. Дальский А. М., Барсукова Т. М., Бухаркин Л. Н. Технология конструкционных материалов. — М.: «Машиностроение», 2004. — 512 с.
21. ASME B46.1-2009. Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay). AN AMERICAN NATIONAL STANDARD. <http://cstools.asme.org>
22. Є.О. Неманежин, В.М. Івко, Ю.І. Торба. Теоретичні та експериментальні методи визначення характеристик міцності лопаток турбін при термомеханічному навантаженні. Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2021, №4(173), спецвипуск 1, с. 93-101. doi: 10.32620/aktt.2021.4sup1.13