

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

ПРОМИСЛОВА ЧИСТОТА В АВІАКОСМІЧНІЙ ГАЛУЗІ

Навчальний посібник

Харків “ХАІ” 2020

УДК 629.7.02-2.002:621.923.5 (075.8)
П 81

Колектив авторів:

І. В. Бичков, О. В. Лосєв, А. М. Григорович, Г. С. Селєзньова

Рецензенти: д-р техн. наук С. О. Тимчук,
канд. техн. наук В. Ф. Климов

Промислова чистота в авіакосмічній галузі [Текст] : навч. посіб. / І. В. Бичков, О. В. Лосєв, А. М. Григорович, Г. С. Селєзньова. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 88 с.

ISBN 978-966-662-789-9

Наведено основні причини очищення поверхонь і кромок від технологічних забруднень, а також залучені результати досліджень у даній галузі, які виконано в ХАІ. Слід відзначити вплив різних елементів технологічної системи на утворення негативних наслідків механічної обробки деталей та шляхів їх усунення.

Для студентів, аспірантів, інженерів як необхідний матеріал для підготовки та розуміння процесів для подальшого вивчення дисциплін, які пов'язані з управлінням життєвим циклом виробів.

Іл. 69. Табл. 4. Бібліогр.: 51 назв

УДК 629.7.02-2.002:621.923.5 (075.8)

© Колектив авторів, 2020
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2020

ISBN 978-966-662-789-9

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Необхідність забезпечення промислової чистоти машин.....	6
2 Джерела первинних технологічних забруднень.....	14
3 Методи видалення ліквідів і їх характеристики.....	26
4 Особливості виробництва та експлуатації арокосмічної техніки..	68
5 Відносна вартість обладнання. Порівняльний аналіз собівартості очищення деталей різними методами.....	76
6 Вибір методів та обладнання для агрегатного виробництва.....	79
Бібліографічний список.....	83

ВСТУП

Необхідної якості виробів вітчизняного машинобудування можна досягти, головним чином, багатостадійним доведенням технологічних процесів за результатами виготовлення, випробувань, експлуатації виробів. При такому підході поєднання характеристик елементів технологічної системи має випадковий характер. Оскільки негативні впливи технологічної спадковості виявляються в експлуатації поза виробничим процесом, то неможливо прогнозувати терміни освоєння нових виробів, значного подорожчання робіт і, як результат, втрати конкурентоспроможності.

Країни, розвинені в області машинобудування, понад чверть століття тому вступили в етап переходу від розроблення розрізнених прогресивних технологій і техніки для їх реалізації до цілісних технологічних систем нових поколінь. Технологічні системи, що охоплюють життєвий цикл виробів, формуються на основі поставленої мети і вирішуваних завдань, забезпечуючи оптимальну якість. Оптимальна технологічна система характеризується сумарними властивостями, які прогнозовано і стійко забезпечують необхідну якість виробів з максимальним економічним ефектом. Технологічна система не зводиться до простої сукупності складових елементів. Розглядаючи елементи окремо, без урахування зв'язків між ними, неможливо об'єктивно оцінити їх властивості в цілому, а отже не можна оптимізувати витрати у виробництві і експлуатації при заданій якості продукції.

У результаті розроблення та використання технологічних систем стала можливою сертифікація виробництв і виробів. Одним з найбільш важливих елементів технологічної системи, що впливають на надійність прецизійних виробів машинобудування, є промислова чистота з комплексом заходів щодо видалення первинних забруднень у вигляді задирок, мікрочастинок, частини мікрорельєфу, яка швидко зношується.

Необхідність забезпечення промислової чистоти прецизійних деталей пояснюють функціональними причинами. Ці запобігання відмовам гідравлічних систем пов'язані з заклинюванням розподільних і регулювальних пристроїв, а також з підвищеним зносом відповідальних деталей, що відбувається при попаданні в зазори третьових пар твердих металевих частинок [1], ускладненням при складанні та позиціонуванні, зниженням утомної міцності і тощо.

Частинки, задирки оброблюваних деталей і продукти зносу різальних інструментів, потрапляючи в гідравлічну або пневматичну системи, переносяться робочим середовищем по всій конструкції, порушуючи роботу найбільш уразливих елементів. Задирки спричиняють завихрення в потоці газу або рідини, а також погіршення товарного вигляду виробів і погіршують зчеплення з лакофарбовими та іншими покриттями.

Процес створення конкурентоспроможності техніки закладається в процесі обґрунтування схемних, конструктивних, технологічних рішень, які

являють собою синтез технологічних систем, що складаються з безлічі елементів із суперечливими властивостями – це зумовлює їх оптимізацію. Формування технологічних систем на базі науково-технічних досягнень, що охоплюють життєвий цикл виробів, виконується на підставі поставленої мети і вирішуваних завдань, забезпечуючи необхідну якість. Однією з найбільш важливих властивостей, що характеризують якість літальних апаратів, є надійність, яка досягається комплексом технологічних заходів. Промислова чистота прецизійних виробів входить у цей комплекс заходів щодо її забезпечення. Дослідження і дослідно-конструкторські розробки в області технологічного оснащення поверхонь і кромки деталей широко проводяться в США, Англії, Франції, Японії, Китаї, а також у нашій країні. При забезпеченні чистоти поверхонь деталей і робочих порожнин машин ресурс може бути збільшений у 2-3 рази [2].

В умовах агрегатного виробництва, де переважно обробляють складно-профільні деталі із застосуванням обробних центрів, якими користуються різні інструментальні системи, вибір методу видалення ліквідів ускладнюється тим, що точіння, фрезерування, свердління та інші методи механічної обробки утворюють технологічні забруднення, що відрізняються розмірами і властивостями, різною міцністю зчеплення з деталями, спричиняють різні проблеми з їх видалення. Особливість обробно-очисних технологій полягає в тому, що ефективність виявляється при очищенні 100 % деталей, які належать до автономних гідро- або пневмосистем, агрегатів, вузлів. На сьогодні розроблено понад 120 оздоблювальних і очисних методів і на порядок більше моделей обладнання для їх реалізації.

Це свідчить як про важливість проблеми очищення поверхонь і кромки деталей від первинного забруднення, так і про складність її вирішення [1, 2].

Цю групу технологій інтенсивно розвивали в США, Японії, країнах Євросоюзу під свої структури промислових підприємств. В умовах вітчизняних агрегатних виробництв аерокосмічної техніки для 100 % видалення ліквідів, потрібно близько 10 –15 методів та відповідна кількість обладнання. Якщо врахувати, що ці виробництва дрібносерійні, то забезпечення промислової чистоти виробів (відповідно якості) потребує підготовки висококваліфікованих інженерних фахівців у цій області техніки.

Розміри поверхонь, що утворюється при обробці, залежать від методу, умов обробки та від шорсткості поверхонь деталі. Не завжди існує можливість механічною обробкою забезпечити необхідну якість кромки, тому додатково використовують інші методи.

Для забезпечення стабільності та передбачуваності якості виробів необхідне розуміння, яким чином впливає технологічна спадковість як на подальше оброблення, так і на експлуатаційні характеристики виробів. Тобто важливо знати об'єктивні закономірні взаємозв'язки і причинні зумовленості явищ, що відбуваються в елементах технологічної системи і виробів при експлуатації.

1 НЕОБХІДНІСТЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВОЇ ЧИСТОТИ МАШИН

Загально визнано, що працездатність будь-якого виробу визначає, в основному, точність розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталей, а також стан чистоти їх поверхонь і кромek. У світовій практиці можливості підвищення якості виробів за рахунок збільшення точності розмірів і форми поверхонь майже вичерпані і пов'язані зі значним збільшенням витрат (рисунок 1.1) [3].

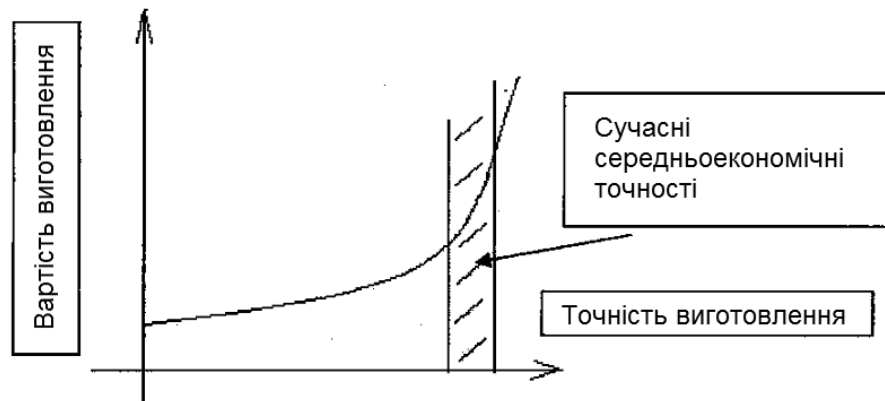


Рисунок 1.1 – Залежність вартості виготовлення виробу від точності його виготовлення

Відомо, що технологічні забруднення знижують довговічність прецизійних виробів і спричиняють їх пошкодження і відмови. Негативні наслідки від цих забруднень виявляються при експлуатації виробів. Ресурс і експлуатаційна надійність літальних апаратів, наземних транспортних засобів, верстатів, пресів, будівельно-дорожніх, сільськогосподарських та інших машин значною мірою залежать від чистоти робочих порожнин вузлів і агрегатів, поверхонь деталей, гідравлічних, паливних, масляних та інших систем.

Основні вимоги пильної уваги до оброблення і очищення поверхонь і кромek – функціональні. Задирки, виступи мікронерівностей на крайках через малу їх механічну міцність руйнуються на початку роботи і забруднюють робочі рідини гідравлічних систем. Частинки задирок, потрапляючи в гідравлічну або пневматичну систему, переносяться робочим середовищем по всій системі, порушують роботу найбільш чутливих елементів: золотникових, плунжерних пар, підшипників, зубчастих передач, деталей замків, клапанів та ін. [4, 5]. Видалення ліквідів – це невід'ємна частина заходів щодо забезпечення промислової чистоти у виробництві і працездатності прецизійних деталей і агрегатів в експлуатації.

Ретельне очищення робочих порожнин машин від виробничих і експлуатаційних забруднень запобігає передчасному зношенню відповідальних вузлів деталей і агрегатів, різко збільшує термін їх безвідмовної робо-

ти, покращує технічні характеристики та експлуатаційні властивості машин, економить дорогі конструкційні матеріали та робочі рідини, скорочує витрати на обслуговування і ремонт машин.

Дослідження і дослідно-конструкторські розроблення в області технологічного очищення широко проводяться в США, Англії, Франції, Японії, а також у нашій країні. Однак проблема вискоєфективного очищення робочих порожнин агрегатів і систем машин унаслідок своєї складності поки не отримала остаточного рішення і залишається досить актуальною.

Проблема промислової чистоти машин зараз вирішується завдяки застосуванню при їх виробництві та експлуатації спеціальних методів і засобів очищення деталей, вузлів, агрегатів і систем і відповідним чином організованої системи контролю чистоти.

Склад і характер реальних забруднень визначаються особливостями технології виготовлення, складання та випробувань машин, станом і властивостями застосовуваних технологічних і робочих середовищ, умовами використання при виробництві, випробуваннях та експлуатації машин.

Установлено, що забруднення, особливо у вигляді твердих частинок, значно знижують термін служби машин і нерідко спричинюють їх несправності і поломки. Забруднення швидко виводять з ладу фільтруючі елементи паливних і гідравлічних систем. Необхідну ступінь чистоти порожнин і робочих середовищ для конкретних агрегатів і систем машин установлюють на основі вивчення впливу розмірів, матеріалу і кількості частинок забруднювальних домішок на показники надійності і довговічності найбільш відповідальних деталей і вузлів.

У літературних джерелах наведено такі дані щодо допустимих забруднень робочих рідин різних машин. Наприклад, найбільше зношення деталей циліндропоршневої групи двигунів внутрішнього згорання відбувається при забрудненні моторних масел твердими частинками розміром 10 ... 25 мкм. Під впливом більших частинок домішок знос деталей зменшується. Зношення посадочних місць, колінчастого вала, підшипників та інших важко навантажених деталей двигуна відбувається внаслідок впливу частинок забруднень, порівнянних за розміром з величиною зазорів у з'єднаннях і товщиною масляної плівки, яка знаходиться в межах від 5 до 20 мкм [6]. Товщина масляної плівки в підшипникових вузлах колінчастого вала зазвичай становить 15 ... 75 % від величини середнього зазору.

Товщина масляної плівки на контактуючих деталях редукторів та інших механізмах системи приводів становить у середньому 2,5 мкм і залежить від діючих навантажень, кутової швидкості обертючих деталей, в'язкості масла та інших чинників. Найбільший знос зубчастих коліс редукторів спостерігається при розмірі абразивних частинок забруднень від 15 до 25 мкм, при цьому зношуються також і шліцьові з'єднання.

Вимоги до чистоти робочої рідини гідравлічних систем металорізальних верстатів ув'язуються з величиною робочого тиску в системі. При робочому тиску 1,3 МПа в рідині не повинно бути частинок розміром більше

80 мкм, при 12,5 МПа – більше 40 мкм, при 35 МПа – більше 15 мкм. У гідросистемах з тиском понад 14 МПа не повинно бути частинок розміром більше 10 мкм. Такі ж вимоги – і до гідравлічних систем пресового устаткування.

Деякі вітчизняні агрегати гідравлічних систем різного призначення мають точні плунжерні пари, радіальний зазор в яких не перевищує кількох мікрон. Величина зазорів у цих агрегатах і визначає вимоги до очищення робочих порожнин агрегатів і рідини. При роботі авіаційних гідросистем повинні бути видалені забруднення розміром більше 2 ... 5 мкм, а з гідросистем будівельно-дорожніх і сільськогосподарських машин, тракторів, автомобілів і морських судів треба видаляти частинки крупніші 15 ... 20 мкм.

Існуючі рекомендації щодо технологічного забруднення механізмів, хоча і різняться за кількісними показниками в межах 40 %, але базуються на такій гіпотезі і якщо найбільший розмір частинок забруднень менше величини зазору, то частинки забруднень разом з рідиною вільно проходять через нього, не спричинюючи ушкоджень.

Проте насправді це зовсім не так. Похибки форми сполучених деталей, а також позацентрове навантаження на рухомі елементи змінюють зазори у сполученні від нуля до максимуму. При масовості навіть мікрочастинки у частки мікрона небезпечні для рухливих з'єднань, вони спричинюють знос і здатні призвести до виходу з ладу виробів при виникненні несприятливих умов роботи (екстремальних навантажень, температур, швидкостей і т. п.). Через їх високу проникну здатність потребують до себе підвищеної уваги і ретельного аналізу можливих наслідків не тільки у розглянутому з'єднанні, але і в автономній системі в цілому.

На рисунку 1.2 показано результати стендових випробувань двох типів авіаційних агрегатів при використанні робочих рідин різних класів чистоти. Збільшення кількості частинок в два рази зменшує ресурс у чотири рази, погіршення чистоти робочої рідини на шість класів (у 12 разів) призводить до зниження напрацювання на відмову більше ніж у 140 разів [4, 7, 8]. На рисунку 1.3 показано приклад допустимого кількісного вмісту частинок у робочій рідині 6-го класу чистоти [8]. Домінуючим є абразивний знос, в основі якого лежить механізм процесу різання. Експериментально встановлено квадратичну залежність ресурсу агрегатів від масовості забруднення робочої рідини. Залежності 1 і 2 на рисунку 1.2 показують змінення ресурсу від масовості забруднення робочої рідини частинками розміром 5 мкм і менше мікрометрів.

Частинки розміром менше 5 мкм не враховуються (ГОСТ 17216-71) при аналізі чистоти робочих рідин [9]. Однак дослідження, виконані в галузевому інституті, красномовно доводять, що на ресурс впливають не тільки величина частинок, але і їх масова концентрація. Навіть частинки менше 5 мкм істотно впливають на ресурс гідротопливних агрегатів (рисунок. 1.2). Слід зазначити, що якщо при видаленні задирок і макрочастинок в умовах виробництва авіаційних агрегатів традиційно використовується ручна пра-

ця, то видалення мікрочастинок – це складна технічна проблема, оскільки вони невидимі неозброєним оком, а їх кількість (рисунок 1.3) на кілька порядків більша, ніж великих ліквідів.

Масове забруднення робочих рідин змінює їх властивості, в тому числі змащувальні. Переважна кількість забруднювальних частинок, що утворюються в процесі виробництва, мають розміри менше 5 мкм [9, 10]. Установлено факт поступового збільшення концентрації частинок малої величини в робочих рідинах під час експлуатації, не утримуваних бортовими фільтрами, на порядок і більше. При цьому статистика відмов показує, що основна частка припадає на перевищення норм щодо масової концентрації.

Тому одним з найбільш важливих заходів щодо забезпечення безвідмовності і збільшення ресурсу гідропаливних агрегатів машин є очищення поверхонь і кромek деталей від технологічних забруднень у вигляді частинок металу, в тому числі частинок мікронної величини. Паливні та гідравлічні агрегати літальних апаратів мають велику кількість різних за конструкцією і призначенням золотникових і плунжерних пар. По суті надійність агрегатів визначають найбільш точні елементи конструкції - золотникові і плунжерні пари. Необхідною умовою безвідмовної роботи є висока стабільність сил тертя в певних парах [2, 6, 9].

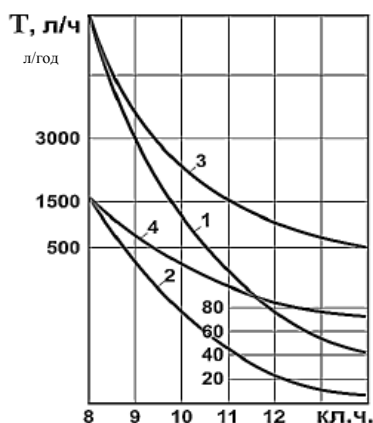


Рисунок 1.2 – Напрацювання при наявності частинок менше 5 мкм (1, 2)

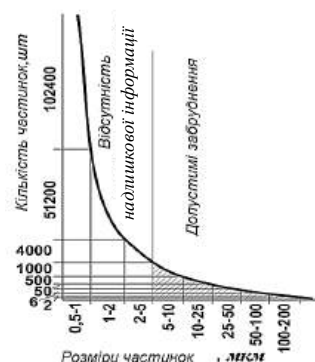


Рисунок 1.3 – Допустиме забруднення робочих рідин (6-й клас чистоти)

Потрапляючи у зазори між робочими поверхнями прецизійних пар, тверді частинки можуть викликати збільшення сил тертя, задирки і заклинювання тертьових пар. Імовірність ушкодження механізмів залежить від концентрації забруднювальних частинок. Чим точніше механізм, тим відчутніше вплив частинок.

Деталі авіаційних гідравлічних і паливних агрегатів виготовляють з високим ступенем точності. Найбільш складними з них є насоси, гідропідсилувачі, апаратура паливної автоматики авіадвигунів. Працездатність

гідравлічних агрегатів в основному залежить від безвідмовного функціонування рухливих сполучень, що мають різні за конструкцією і призначенням золотникові і плунжерні пари. Їх сполучення мають зазори, що забезпечують щільні ущільнення без використання ущільнювальних елементів у вигляді кілець, манжет тощо. Вони виконують функції чутливих елементів автоматичного регулювання тиску, витрати рідини, розподільчих пристроїв гідропідсилювачів систем керування рулями і елеронами літака, лопатями несучих гвинтів вертольотів, витіснювальних елементів насосів та інших пристроїв гідравлічних агрегатів.

Основні вимоги, що ставляться до рухомих пар гідроагрегатів, це стабільність малих за значенням сил тертя і внутрішня герметичність, тобто неприпустимість у процесі роботи витоків робочих рідин через зазори між деталями вище встановленої межі. Необхідність високої герметичності зазорів прецизійних пар виходить із суті виконуваних ними функцій: створення тиску в системі і розподілу потоку рідини між порожнинами гідроагрегатів. Зі збільшенням зазорів збільшуються витoki, що призводить до зниження продуктивності витіснювальних елементів і якості регулювання.

Технологічні забруднення знижують довговічність прецизійних виробів і спричиняють їх підвищений знос, пошкодження і відмови. Негативні наслідки від цих забруднень виявляються при експлуатації виробів. Відмови гідравлічних агрегатів авіаційної техніки через підвищене тертя або схоплювання золотникових пар мають випадковий характер і особливо небезпечні; це може супроводжуватися виходом з ладу двигунів, що створює аварійні ситуації в польоті.

На рисунку 1.4 показано статистичні дані причин знімання авіаційних двигунів зі стендових випробувань виробництва [11]. Переважна більшість зняття газотурбінних двигунів пов'язана з технологічними забрудненнями.

У сучасних умовах необхідно забезпечити як конкурентоспроможність продукції, що випускається, так і надійність технологічної бази (системи). Основу надійності технологічної системи (ТС), елементами якої є обладнання, інструменти, технології, виконавці, становить обґрунтованість призначення методів і режимів оброблення, послідовності операцій і переходів, методів і точності контролю, кваліфікації виконавців і т.д. Це визначає її здатність виробляти продукцію з характеристиками, що задовольняють вимоги конструкторської та нормативно-технічної документації. При цьому склад ТС, технологічні операції і їх послідовність повинні виключати або зводити до мінімуму негативні впливи технологічної спадковості від супутніх явищ технологічних процесів. Негативні супутні явища технологічних процесів є причиною прихованих дефектів, які виявляються в експлуатації. Наприклад, шаржування мікрочастинками поверхонь третьових пар. Дослідження НІД показали, що вплив ліквідів мікронної величини на безвідмовність і довговічність набагато вагоміший, ніж передбачалося. Абразивний знос залежить від масовості засмічення гідросистем. Первинні забруднення поверхонь деталей відбуваються в процесі механічної обробки,

включаючи фінішні види. Це утворення задирок на кромках і мікрочастинок, мікрозадирок на поверхнях деталей. Величина мікрозабруднень порівнянна з величиною шорсткості поверхонь. Прояви цих забруднень можуть бути у вигляді змінення шорсткості тертьових пар, локальних задирок, інтенсивного зносу, схоплювання і заклинювання рухомих пар (рисунок 1.5).

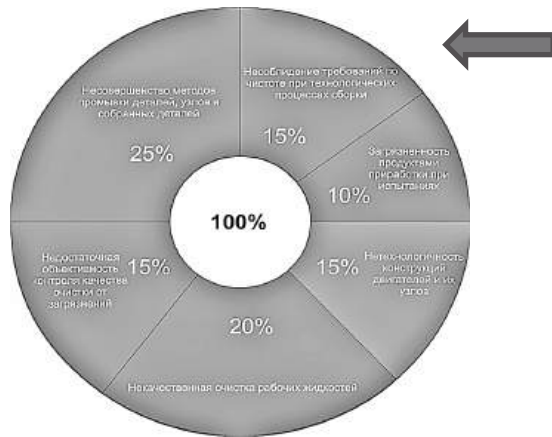


Рисунок 1.4 – Статистичні дані за результатами стендових випробувань газотурбінних двигунів

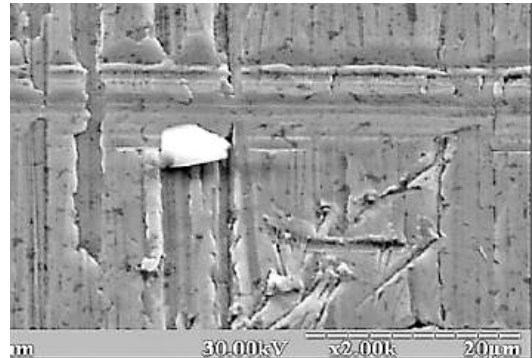


Рисунок 1.5 – Поверхня, пошкоджена твердою частиною

Необхідність видалення технологічних забруднень у вигляді задирок і твердих частинок пояснюють функціональними, ергономічними і естетичними причинами [5, 6].

1. Функціональна причина – це запобігання відмовам гідравлічних систем, пов'язані з заклинюванням розподільних і регулювальних пристроїв, а також підвищеного зносу відповідальних деталей, що відбувається при потраплянні в зазори тертьових пар твердих металевих частинок [7, 8, 9], утруднення при складанні та позиціонуванні, зниження втомної міцності і т. п. Частинки задирок або матеріалу інструментів, потрапляючи в гідравлічну або пневматичну систему, переносяться робочим середовищем по всій системі, пошкоджують або порушують роботу найбільш чутливих елементів: манжетних ущільнень, золотникових, плунжерних пар, підшипників, зубчастих передач, деталей замків, клапанів та ін. Задирки спричиняють завихрення в потоці газу або рідини, порушуючи рівномірність потоку.

Крім того, забруднення робочої рідини змінює її властивості, що знижує змащувальні здатності. Засмічення фільтрів призводить до кавітації в насосі. Наявність металевих частинок сприяє окисленню мастила, утворенню смолистих речовин, які інтенсифікують процес засмічення фільтрів, зарощування зазорів, що призводить до підвищення тиску в лінії, вібрації машини, нещільності з'єднань і витоків рідини. Все це супроводжується підвищенням її температури і зниженням в'язкості та призводить до зменшення товщини масляної плівки. Очевидно, що взаємовпливаючі процеси,

які відбуваються в гідравлічних системах машин, при порушенні умов роботи призводять до посилення негативних явищ.

2. Ергономічна причина – небезпека травмування в процесі роботи, сприяє пошкодженню поверхонь при транспортуванні.

3. Естетична причина – погіршення товарного вигляду виробів, а також зчеплення з лакофарбовими та іншими покриттями.

Існують різні шляхи зниження негативних впливів технологічних забруднень на експлуатаційні характеристики машин і механізмів.

Для забезпечення необхідної чистоти деталей машин використовують усім відомий процес дороблення або обкатки, який передбачає роботу машин на мінімальних режимах з подальшим перебиранням, промиванням і контролем деталей, усуненням дефектів, заміною робочих рідин. Цей шлях перевірений понад столітньою практикою, для нього характерний інтенсивний знос тертьових пар, який може досягати 50 % допустимого. Ліквідація або зменшення зносу на цій стадії забезпечує значне зростання ресурсу виробів.

Застосовують додаткове оброблення, щоб отримати меншу величину мікронерівностей (на два, три порядки менше зазору в сполученні) і, отже, менші за розмірами ліквіди, що призводить до гіперболічного збільшення вартості механічної обробки при погіршенні умов змащення з усіма витікаючими наслідками. На рисунку 1.6 показано змінення трудомісткості оброблення поверхонь деталей при зменшенні величини мікронерівностей і залежність собівартості оброблення від застосування різних технологічних процесів.

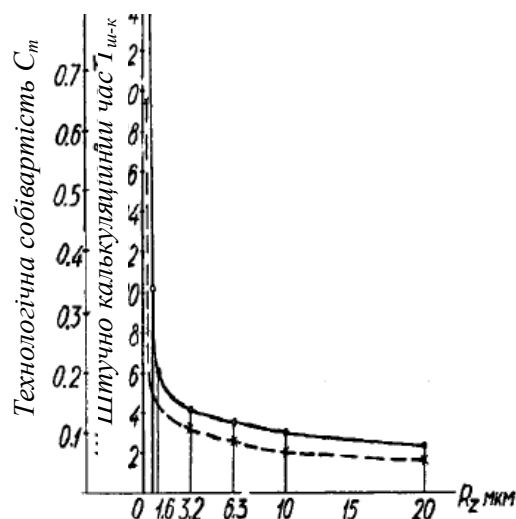


Рисунок 1.6 – Змінення трудомісткості та собівартості оброблення від величини шорсткості поверхонь ($T_{шт.к}$, хв; X – вартість, \$)

Прогресивний напрям вирішення проблеми забезпечення промислової чистоти – використання обробно-очисних технологій, що дозволяють формувати функціонально необхідний мікрорельєф поверхонь деталей і

мінімізувати собівартість продукції при раціональному рівні якості. При цьому група обробно-очисних технологій повинна бути невіддільною частиною цілісних технологічних систем і на одному рівні з токарним, фрезерним та іншими механічними видами оброблення. Режими механічного оброблення повинні призначатися з урахуванням подальшого очищення кромки і поверхонь від ліквідів.

Великі машинобудівні фірми систематизують неполадки обладнання, пов'язані з забрудненнями, наприклад, японська фірма «Кліїнтек індастріз Ко», Токіо (рисунки 1.7).

Особливість застосування обробно-очисних технологій полягає в тому, що ефективність проявляється при видаленні всіх видів ліквідів з поверхонь і кромки у 100 % деталей, що входять до автономних вузлів, агрегатів, гідросистем. Якщо в системі залишиться неочищеною хоча б одна деталь, то робоча рідина перенесе ліквіди по всіх елементах конструкції, і вони забруднять найбільш чутливі до забруднень.

Надійність виробів досягається двома шляхами.

Перший шлях – проводять коригування ТЗ на основі причинно-наслідкового аналізу дефектів, браку і відмов, виявлених при виготовленні, випробуваннях і експлуатації.

Другий шлях – вибір технологічних процесів і відповідно складу ТЗ на етапі технологічної підготовки виробництва (ТПВ), використання науково обґрунтованої закономірності взаємного впливу елементів технологічної системи, що виключають негативну спадковість при розробленні.

Однією з основних умов забезпечення промислової чистоти виробів є визначення джерел технологічного забруднення поверхонь деталей, вузлів, агрегатів, гідравлічних систем. Це дає можливість розуміти, яким чином взаємодіють елементи технологічної системи з точки зору продукування ліквідів на всіх етапах виготовлення та експлуатації.

У ХАІ понад трьох десятиліть ведуться дослідження, розроблення і впровадження технологій і обладнання для гнучкого автоматизованого оброблення і очищення поверхонь і кромки термоімпульсним методом.

Розроблення, адаптовані до вітчизняної структури промислових підприємств, дозволяють в умовах багатоміністерних виробництв автоматизувати оброблення внутрішніх і зовнішніх кромки і поверхонь деталей незалежно від складності їх конфігурацій.

При обробленні не утворюються вторинні забруднення. Обробно-очисні технології для видалення технологічних забруднень інтенсивно розвивалися у високорозвинених у промисловому відношенні країнах.

При цьому створення технологій і обладнання супроводжувалося розробленням певних коштів вимірювань і контролю, а також розробленням стандартів. Усе це пов'язано з тим, що забезпечення промислової чистоти машин є одним з найбільш важливих заходів з досягнення високого ресурсу і надійності.

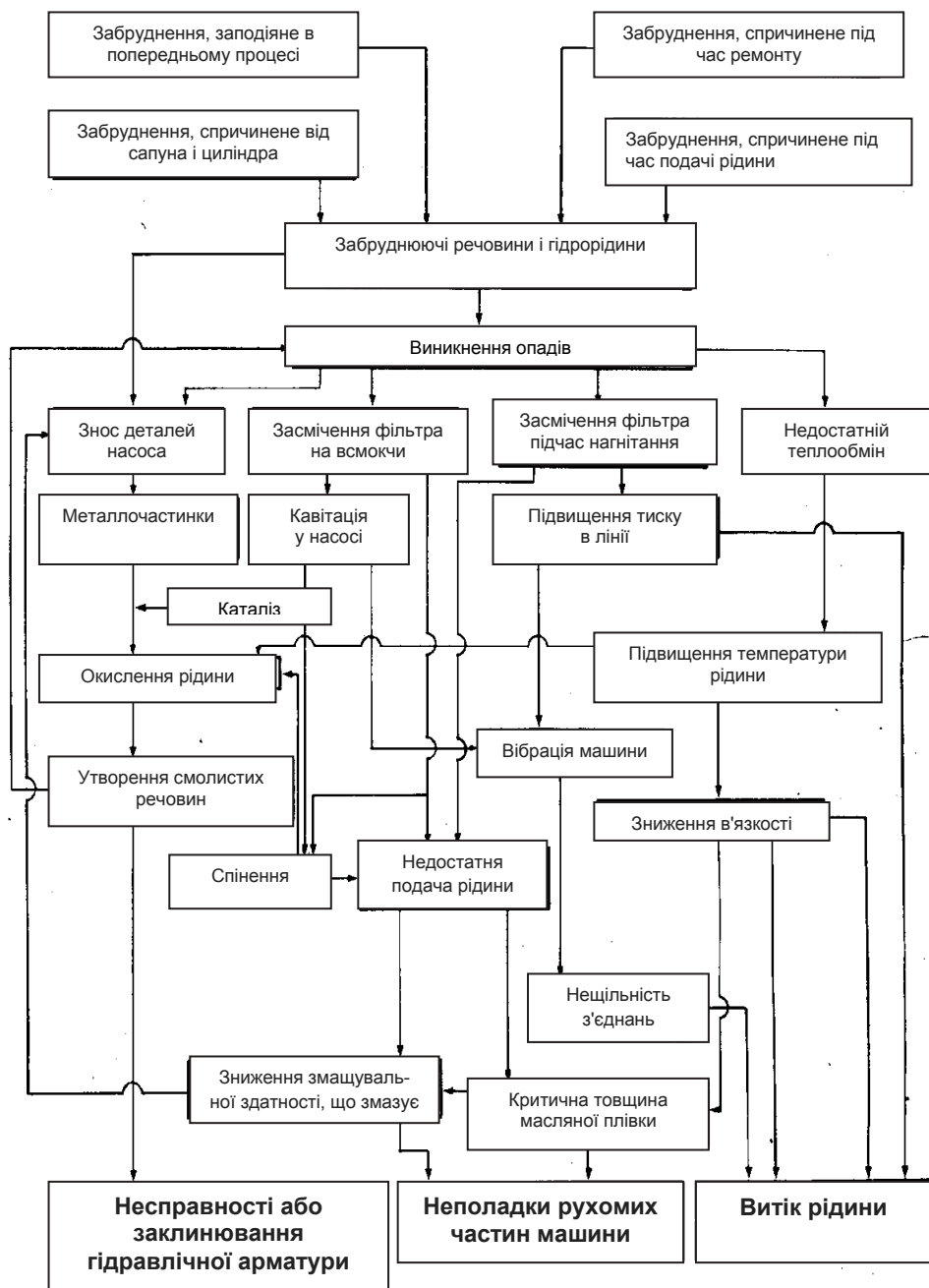


Рисунок 1.7 – Відмови гідравлічних агрегатів, спричинені забрудненням

Для забезпечення стабільності та передбачуваності якості очищення виробів необхідно визначити джерела забруднення, а також мати розуміння, яким чином взаємодіють елементи технологічної системи з огляду на продукування ліквідів.

2 ДЖЕРЕЛА ПЕРВИННИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Установлено, що масове забруднення мікрочастинками відбувається швидкозношувальною частиною мікронерівностей. Відповідно до стандарту DIN 4776, чинного у західноєвропейських країнах, контролюють, крім параметрів мікрогеометрії поверхні, ще й форму профілю. Використовують

чи криву Аббота – Файерстоуна (рисунок 2.1), можна виділити такі елементи профілю шорсткості: усереднену висоту виступів, які швидко зношуються на початку експлуатації (R_{PK}); глибину нерівностей профілю поверхні, що є основою профілю поверхні, яка тривалий час знаходиться в роботі, і відчутно впливає на термін служби виробу (R_K); усереднену глибину западин, що визначають здатність, змащувати поверхні (R_{VK}) [9,12]. Математично крива Аббота – Файерстоуна є кривою сумарної частоти ординат профілю. На рисунку 2.1 показано типові профілограми вихідної шорсткості, які одержані після видалення швидкозношувальної частини профілю. Визначення характеристик профілю шорсткості дозволяє на стадії виготовлення сформувати функціонально необхідний мікрорельєф поверхонь (отримати зносостійкий профіль) і, таким чином, уникнути забруднення продуктами зносу гідравлічних систем.

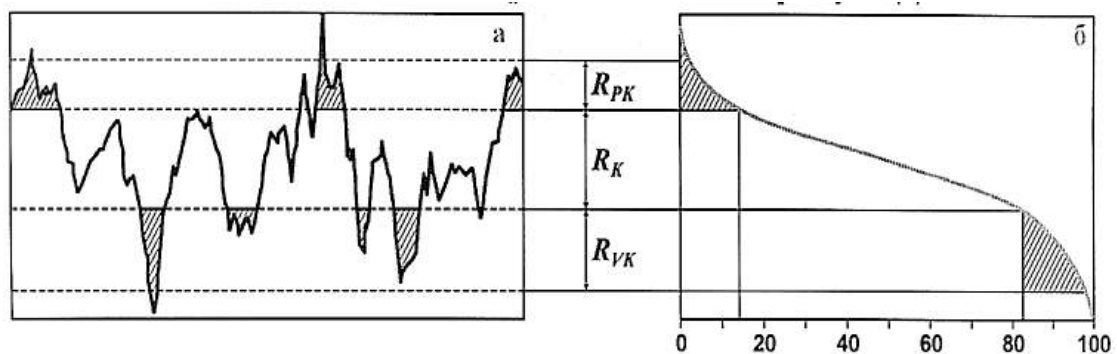


Рисунок 2.1 – Профілограма:
 а – крива Аббота – Файерстоуна; б – крива,
 де швидкозношувальна частина профілю (R_{PK}); частина профілю
 при тривалій експлуатації (R_K); усереднена величина заглиблень профілю
 (R_{VK})

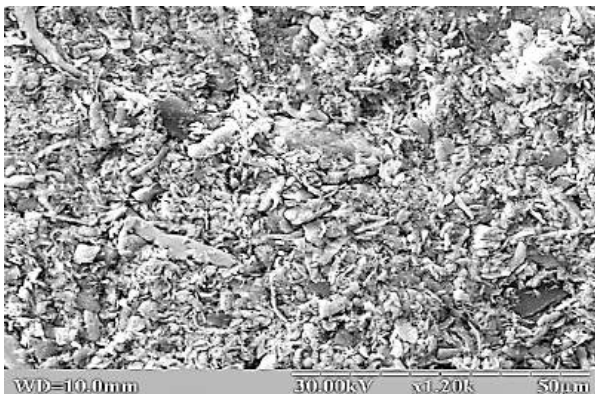
На рисунку 2.2 показано типові профілограми поверхні зразка у початковому стані після шліфування.

При гранулометричному аналізі частинок, виявлених у порожнинах і на поверхнях деталей прецизійних агрегатів, виявлено розкид розмірів металевих частинок від сотих часток до 100 мкм. Найбільш масові частинки (понад 95 %) мають величину менше 5 мкм.

Домінуючими є частинки металів від деталей, що входять до складального вузла. На рисунку 2.3 показано типові мікрочастинки в порожнині корпусної деталі після стендових випробувань агрегата.



Рисунок 2.2 – Типові профілограми зразків до та після очищення (Ra від 1,86 до 1,94 мкм) (Ra від 1,12 до 1,28 мкм)



Інформація			
Напруга [кВ]: 20.00			
Сума %: 100.00			
Елемент	Інт.		С %
Fe	K	22072	96.52
Si	K	2753	3.43
Cr	K	91	0.04

Рисунок 2.3 – Аналіз частинок по області

Встановлено, що після усіх видів механічної обробки залишаються на поверхнях деталей частки, порівнянні з величиною шорсткості.

На рисунках 2.4 – 2.7 показано типові кромки та поверхні деталей з різних матеріалів з мікронними задирками та частинками, що залишились після механічних видів оброблення. Досліджувалися поверхні деталей з інструментальних, нержавіючих, вуглецевих та інших сталей, сплавів на основі міді, алюмінію. Результати відрізнялися тільки за формою частинок і їх кількістю.

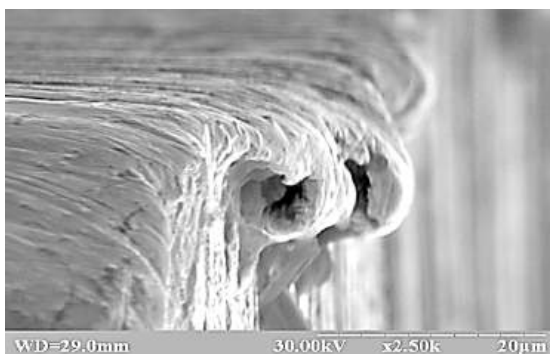


Рисунок 2.4 – Мікрозадирки на кромці та на поверхні деталі

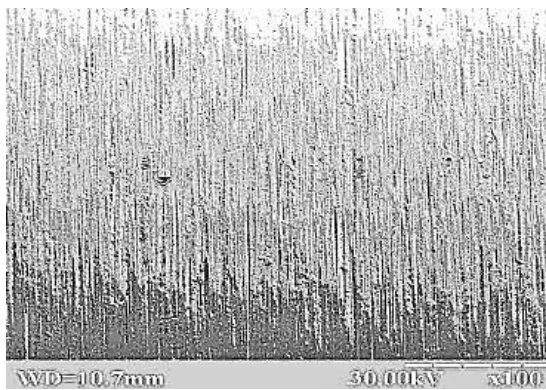


Рисунок 2.5 – Типові частинки на поверхні деталі після шліфування

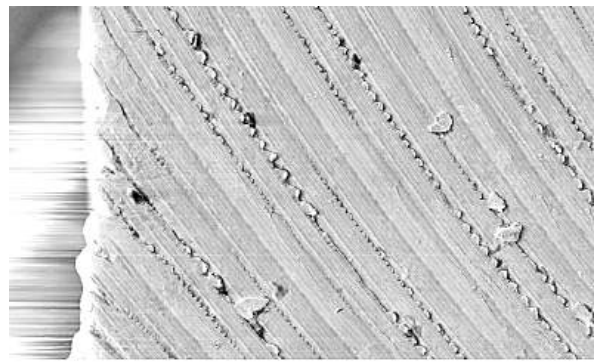


Рисунок 2.6 – Типові частинки на поверхні деталі після фрезерування

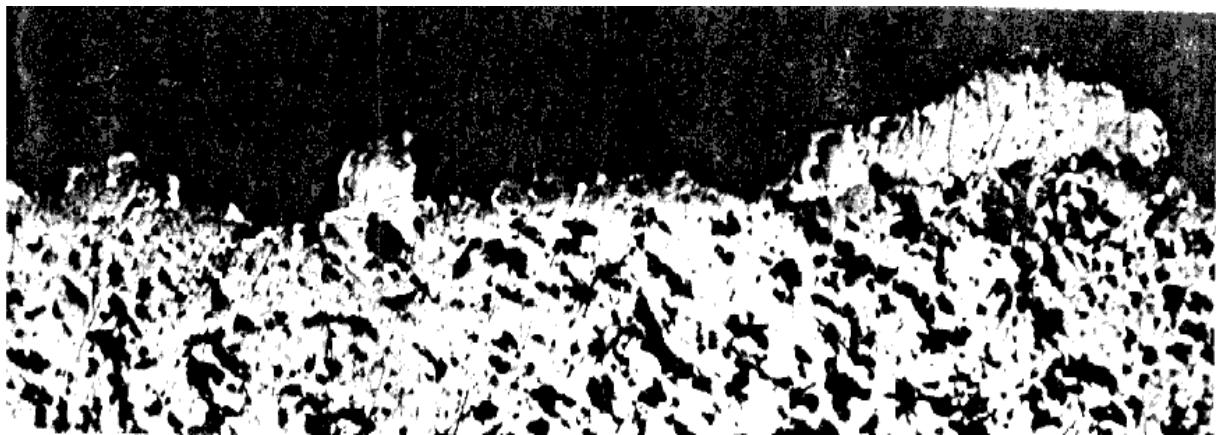


Рисунок 2.7 – Фрагмент поверхні деталі з рисунка 2.5

На рисунку 2.8 показано типові поверхні зразків з вуглецевої сталі після суперфінішного і чистового шліфування, отримані в результаті використання спеціально розробленої технології, що дозволила виявити ліквід.

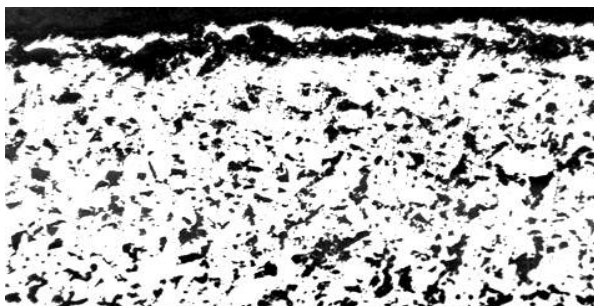
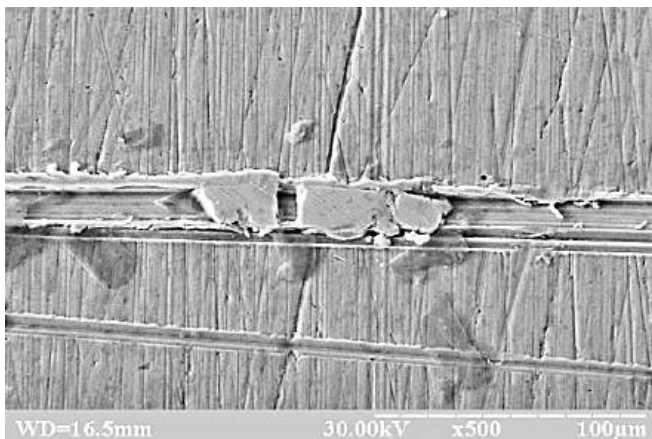


Рисунок 2.8 – Мікрочастинки на поверхнях деталей після фінішних операцій

Утворення частинок матеріалу оброблюваної деталі на її поверхнях пояснюється таким чином: зрізується шар матеріалу і поділяється на два потоки клином загальної кромки, товщина яких обернено пропорційна опору течії і прямо пропорційна радіусу округлення кромки. Шар над різцем формується у вигляді стружки, а мікросхар між різцем і деталлю - у вигляді мікрочастинок через його дроблення при вібрації.

Дослідження деталей, знятих з експлуатації агрегатів, виявили пошкодження золотникових пар навіть частинками, які менше мікрона. Це доводить необхідність видалення з поверхонь і кромки деталей не тільки великих ліквідів, але і від частинок мікронної величини. Прийнята і широко застосовувана модель «якщо розміри частинок менше зазору в рухомій парі деталей, то ушкоджень не може бути» не відповідає дійсності. Спотоження форми золотника і гільзи, несиметричне навантаження на золотник створюють умови для щільного контакту поверхонь, і тому при масовому забрудненні робочої рідини ймовірність попадання твердих частинок в точки дотику дуже висока. На рисунку 2.9 показано фрагмент поверхні золотника пошкодженої частинкою з цього ж золотника. Деталь досліджувалася за відмови в експлуатації агрегата.



Информация

Напряга [кВ]: 20.00
Сума %: 100.00

Елемент	Int.	C %
Fe K	10034	95.28
Cr K	2689	4.50
Si K	157	0.21

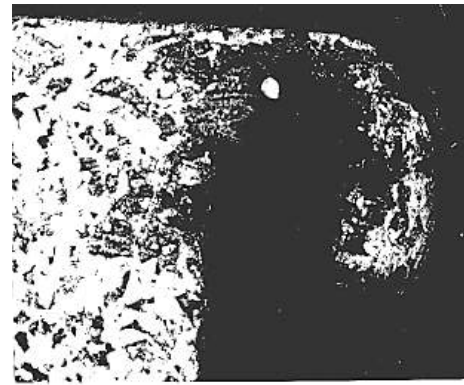
Рисунок 2.9 – Типові мікрочастинки матеріалу золотника

Відомою проблемою в машинобудуванні, яка негативно впливає на якість продукції, є задирки. Виникнення задирок супроводжує усі процеси різання при механічній обробці деталей. Їх можна зменшити за рахунок відповідних заходів, але не виключити повністю. В ідеальному випадку постійного режиму оброблення різанням з ідеальним відтворенням характеристик інструментальної системи і оброблюваного виробу можна прогнозувати виникнення задирок заданих розмірів. Однак типові деталі аерокосмічної техніки виготовляються з високоміцних сплавів, які важко піддаються обробленню різанням. Величина ж задирок значно залежить від умов різання, заточування інструмента, стану різальної кромки.

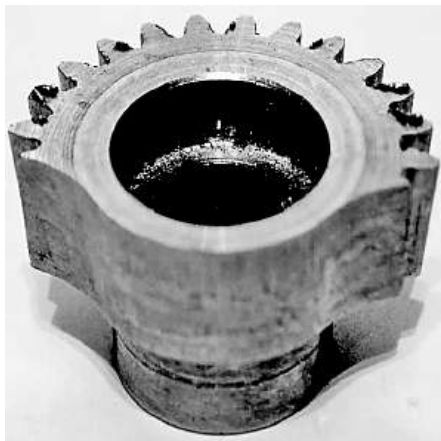
На рисунку 2.10 показано типові задирки на деталях з різних матеріалів, що утворилися при різних видах механічної обробки.



а



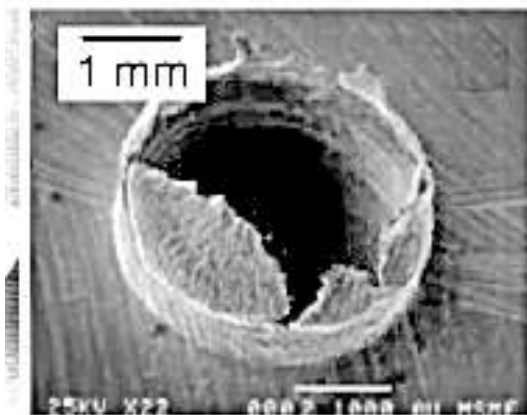
б



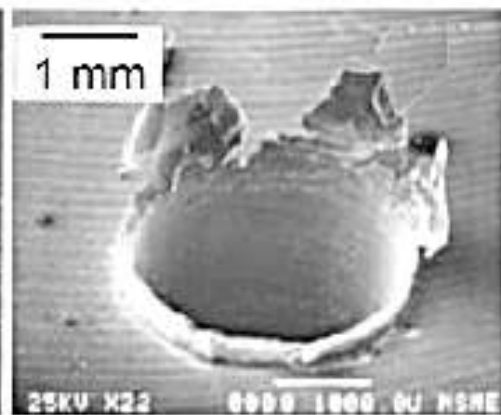
в



г

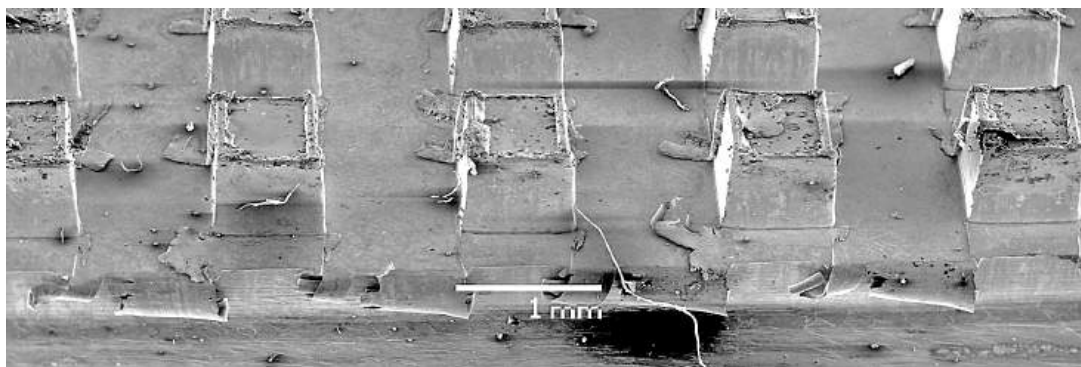


д



е

Рисунок 2.10 – Типові задири на зовнішніх поверхнях деталей, що утворилися при різних видах механічної обробки: а, б – після шліфування високолегованих сплавів; в, г – після фрезерування високолегованих сталей; д, е – після свердління; ж – після високошвидкісного фрезерування панелі зі сплаву 32НҚД; и, к – після фрезерування деталей з кольорових сплавів



Ж



И



К

Рисунок 2.10 – Продовження

Результати досліджень деталей ГТД і зразків свідчать про те, що навіть при раціональних режимах оброблення різанням виникнення задирок не тільки на різних деталях, але і на різних ділянках однієї й тієї ж деталі практично не відповідають ніякій закономірності. При цьому кромки деталей авіаційних двигунів часто потрібно надавати особливої форми для зменшення турбулентності в потоці газу, що обтікає деталь, або для зниження локальних напружень.

У гідравлічних агрегатах використовують золотники, у яких кромки повинні бути чистими з радіусами заокруглення, близькими до нуля. Для цього видалення задирок поєднують з формуванням поверхонь крайок, тому слід уникати нестійкої ручної праці на цих операціях (впливу суб'єктивних факторів).

На рисунку 2.11 показано і корпусні деталі гідравлічних агрегатів, при виготовленні яких використовується кілька десятків різних видів різальних інструментів, що утворюють різноманітні за властивостями та формами ліквіди. Очищення кромки і поверхонь таких деталей є технічно складною проблемою. Особливо проблемним є оброблення кромки на перетині каналів.

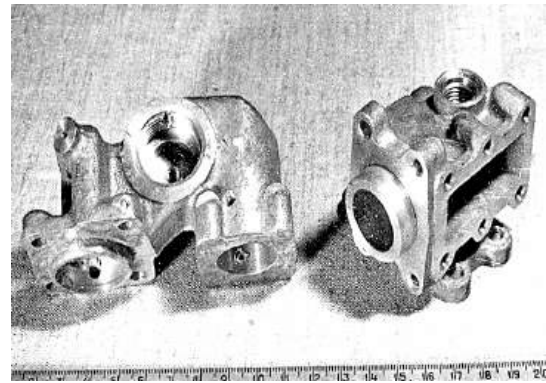
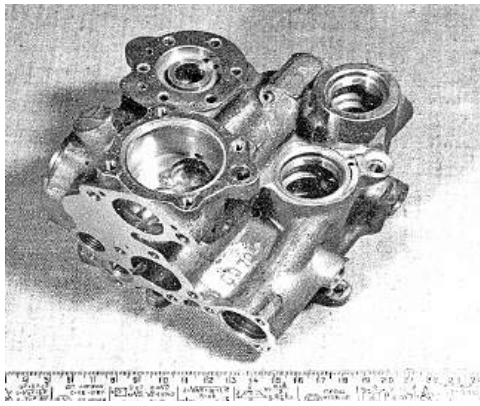


Рисунок 2.11 – Типові корпусні деталі гідравлічних агрегатів

На рисунку 2.12 показано типову різальну кромку фрези після заточування на заточувальному верстаті фірми [Valter]. При зіткненні з деталлю така різальна кромка стає джерелом мікрочастинок. При цьому різальні кромки лезового інструменту додатково обробляються, згладжуючи мікронерівності.

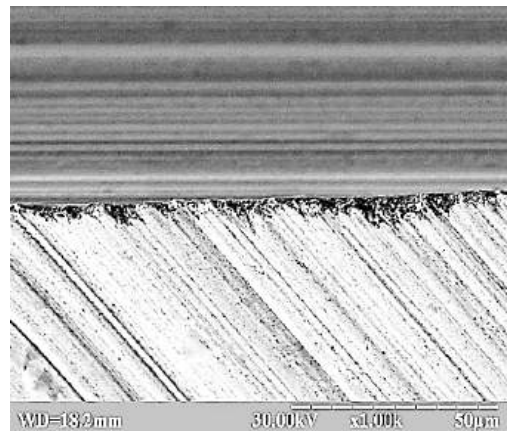
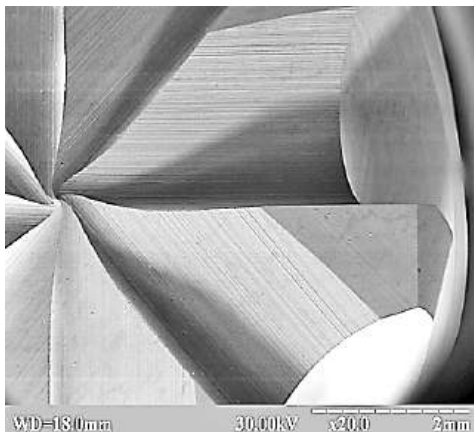
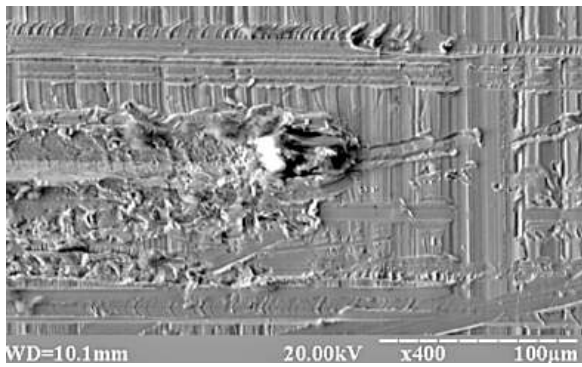


Рисунок 2.12 – Фреза з типовою різальною кромкою без оброблення

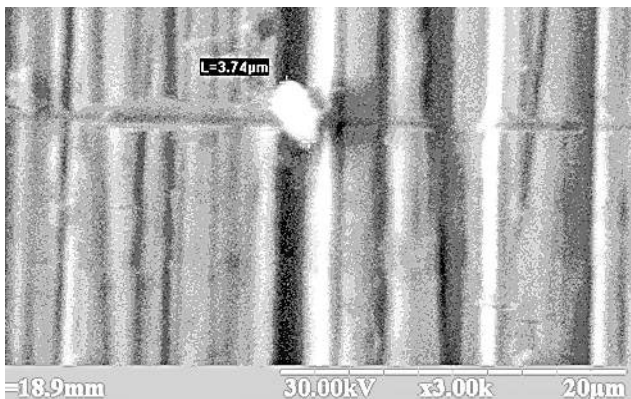
Розглянемо один із найважливіших складових елементів технологічної системи, що впливає на формування мікрорельєфу поверхонь, задирок, а отже і на якість деталей, – це різальний інструмент. Близько 50 % трудомісткості формоутворення деталей виконується лезовим інструментом, тому в цій області техніки інтенсивно ведуться дослідження з підвищення стійкості, швидкості різання, формування мікрорельєфу поверхонь. Ефективність процесів різання всіх типів лезоподібних інструментів багато в чому залежить від якості різальних кромок.

На рисунках 2.13, 2.14 показано поверхні з дефектами золотників, знятих з агрегатів після відмови в експлуатації. Дефекти спричинені мікрочастинками від різального лезового інструменту.



Інформація			
Напруга (кВ): 20.00			
Сума %: 100.00			
Елемент	Лин.	Інт.	С %
Mo	L	1043	61.97
Ni	K	275	15.01
Cu	K	191	13.38
Si	K	503	9.64

Рисунок 2.13 – Задирки на поверхні золотника та хімічний склад частки



Інформація			
Напруга (кВ): 20.00			
Сума %: 100.00			
Елемент	Лин.	Інт.	С %
W	L	5367	94.35
Co	K	1795	5.65

Рисунок 2.14 – Пошкодження поверхні часткою інструмента

Наявність частинок в долі мікрметра з поверхонь золотників також є причиною виходу з ладу агрегатів. На рисунку 2.15 показано фрагмент пошкодженої поверхні золотника, знятого з випробувань агрегата, часткою $\sim 490 \times 120$ нм.

Отже, на високу якість поверхонь виробів, на стабільність розмірів ліквідів при механічній обробці істотно впливає якість різальних інструментів – їх стійкість, параметри різальних кромки, шорсткість, радіус округлення та ін. Підвищена шорсткість різальних кромки після звичайного заточування шліфуванням істотно знижує їх міцність.

Виступи мікронервностей на кромках через малу їх механічну міцність руйнуються в перші секунди різання. Западини мікронервностей є місцем зародження мікротріщин, вони розростаються в процесі різання і призводять до утворення відколів. Руйнування шліфуванням і механічно слабкою кромкою на початковому етапі різання відбувається некеровано та призводить до некерованого змінення її форми.

Стан різальних кромки також істотно впливає на міцність зносостійкого покриття інструментів. Якщо перед нанесенням покриття різальна кромка не округлена, то при різанні відбувається руйнування зносостійкого покриття у кромки. Встановлена закономірність впливу радіуса різальної кромки інструмента на утворення ліквідів є сполучною ланкою інтеграцій-

ної технологічної системи очищення поверхностей і кромки деталей від ліквідів.

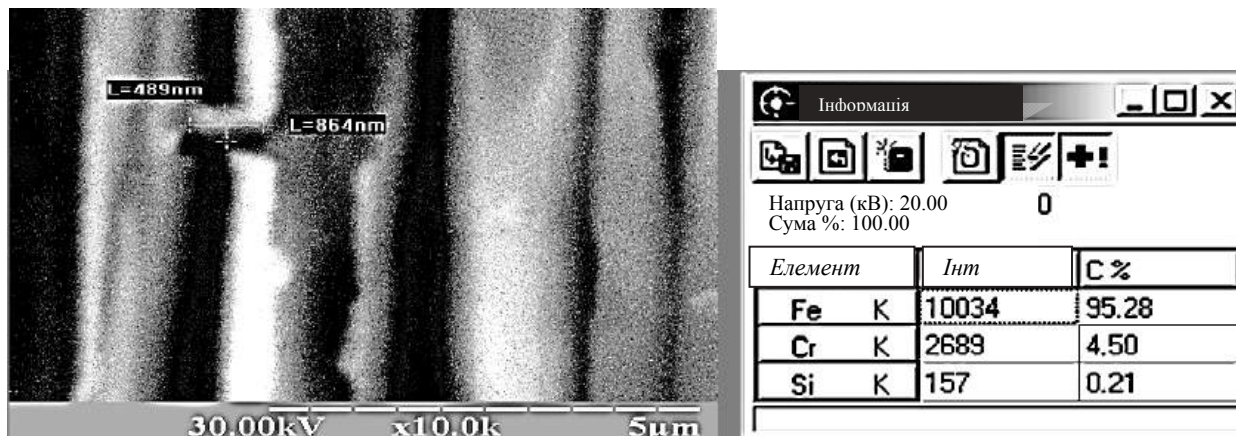


Рисунок 2. 15 – Фрагмент поверхні золотника, пошкодженої наночастинкою

Різальні кромки інструмента після заточування необхідно піддавати додатковому кінцевому обробленню шляхом створення на кромці зміцнювальної фаски на інструментах для грубих операцій або попереднім округленням кромки на інструментах різного призначення. І те, і інше забезпечують тривале збереження геометричної форми кромки, підвищену її міцність і, відповідно, підвищену стійкість усього інструменту. Округлення кромки прийнятно для широкого переліку інструментів.

В умовах виробництва авіаційних агрегатів, де переважно обробляють складнопрофільні деталі (див. рисунок 2.11) із застосуванням обробних центрів, які використовують різні інструментальні системи, вибір методу видалення ліквідів ускладнюється тим, що точіння, фрезерування, свердління та інші методи механічної обробки утворюють різні види ліквідів (задирки і мікрозадирки, мікрочастинки матеріалу оброблюваної деталі та інструментів).

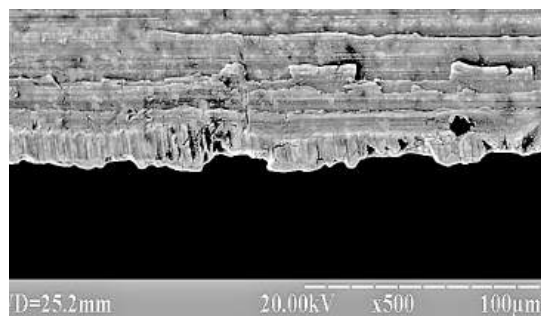
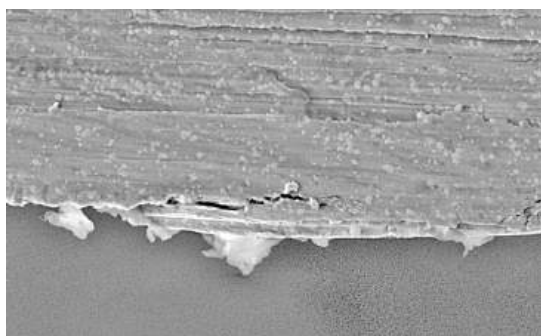


Рисунок 2.16 – Типові кромки після переточування

На рисунку 2.16 показано типові кромки після переточування. Очевидна потреба в очищенні й обробленні кромки. На рисунку 2.17 показано зразок різальної кромки після розмірної термоімпульсної обробки, режими якої обчислені за методикою, описаною в роботах [13, 14].

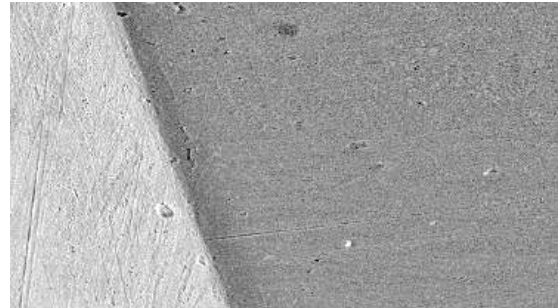
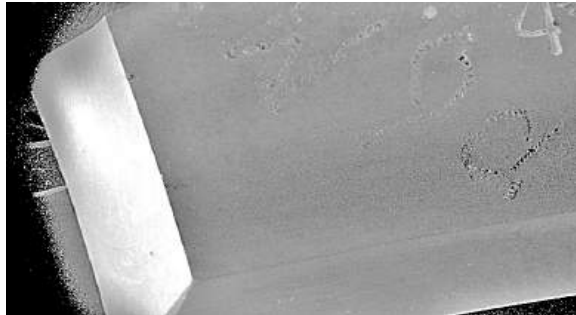


Рисунок 2.17 – Кромки різця після термоімпульсної обробки

На рисунку 2.18 показано результати досліджень кромки інструменту зарубіжних фірм.

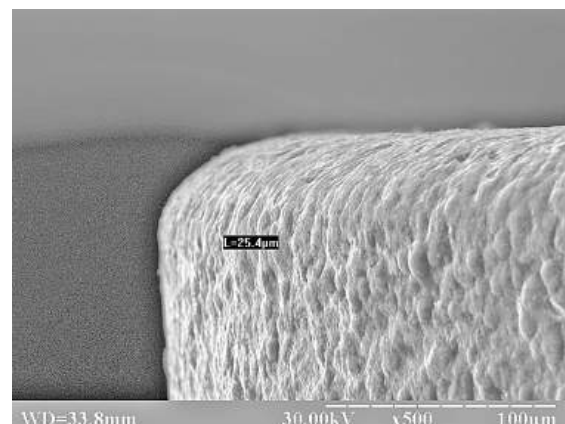
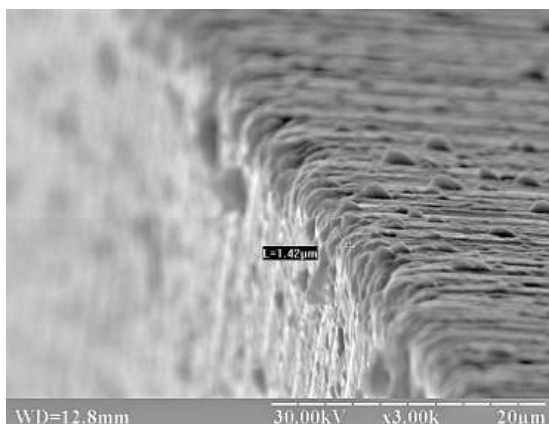


Рисунок 2.18 – Типові кромки різальних інструментів зарубіжних фірм

З притуплення різальних крайок інструментів змінюється фізика ліквідів, як на крайках, так і на поверхнях деталей. На рисунках 2.19, 2.20 показано вплив радіуса заокруглення утворення різальної кромки інструмента на якість оброблюваних поверхонь деталей. Якщо утворення задирок на кромках більш-менш досліджено, то утворення ліквідів на поверхнях деталей не висвітлюється в технічній літературі.

Необхідної якості виробів вітчизняного машинобудування домагаються, головним чином, багата стадійним доведенням сільського господарства за результатами виготовлення, випробувань, експлуатації виробів. При такому підході поєднання характеристик елементів технологічної системи має випадковий характер. Оскільки негативні впливи технологічної спадковості позначаються в експлуатації поза виробничим процесом, то це

призводить до непрогнозованих термінів освоєння виробництва нових виробів, значного подорожчання робіт і в результаті – до втрати конкурентоспроможності.

Розглянемо вплив параметрів різальних кромки інструментів на виникнення ліквідів на поверхнях деталей. Відомо, що мікрорельєф різальної кромки копіюється на оброблювану поверхню. Тому ми досліджували вітчизняний та імпортований різальний інструмент.

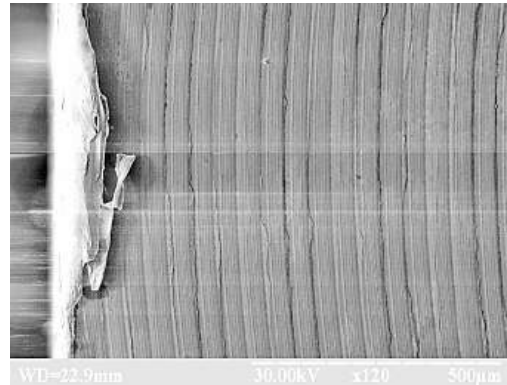
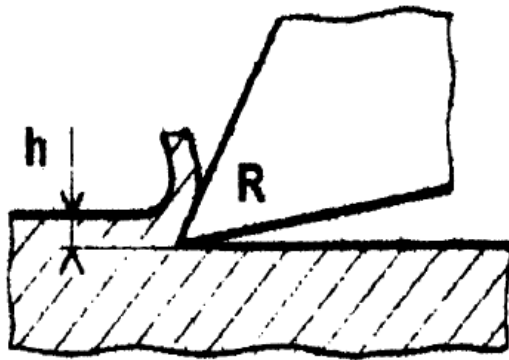


Рисунок 2.19 – Поверхня, оброблена інструментом з гострою кромкою

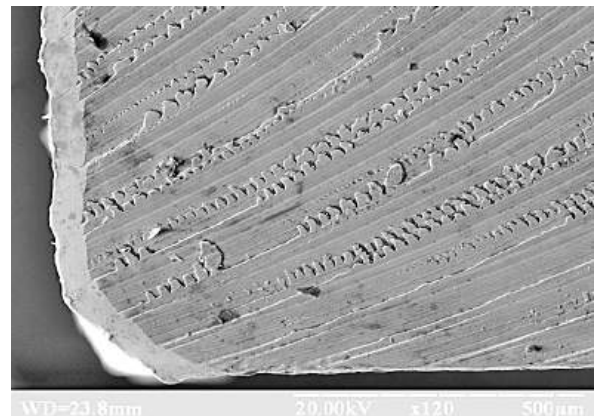
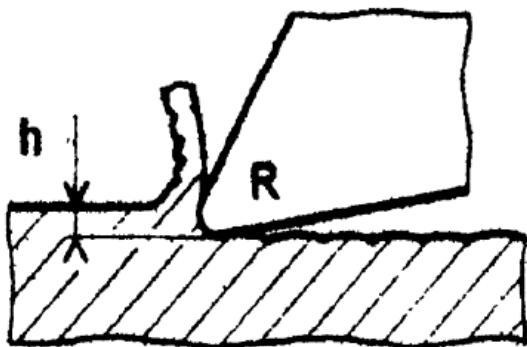


Рисунок 2.20 – Поверхня, оброблена інструментом із закругленою кромкою

Задирки – це непотрібні побічні продукти, вироблені пластичною деформацією в процесі різання при обробленні. Задирки формуються на краях поверхонь у результаті оброблення. Це призводить до небажаної геометрії кромки [15]. Задирки зустрічаються практично в усіх виробничих процесах, де відбувається видалення матеріалу від зсуву або з джерелом тепла. У процесах зсуву гострота різального інструменту є найважливішим фактором у формуванні задирок. Інші параметри, такі як швидкість різання, подача і робочий матеріал, також впливають на виникнення задирок.

Зняття задирок – видалення задирок і підтримка якості кромки. Більшість методів зняття задирок забезпечує видалення задирок, але не забезпечує контрольовану якість краю. Крім того, ці методи можуть виклика-

ти змінення розмірності компонентів, спотворюючи компоненти та інші побічні ефекти. Контрольований і якісний край може підвищити термін служби виробу. Останнім часом нетрадиційні методи набувають все більшого застосування для зняття задирок [16].

Видалення зовнішніх задирок легко контролювати візуально. Проте видалення задирок у важкодоступних зонах є складним завданням через складність інструменту для видалення задирок, відсутність простору для розміщення інструменту для видалення задирок і відсутності видимості області задирок. Зняття задирок у важкодоступних зонах традиційними методами не забезпечує видалення задирок і кондиційної кромки. Зняття задирок за допомогою нетрадиційних методів забезпечує краще рішення. Оброблення електричним розрядом (ЕР), електрохімічне оброблення (ЕХО) і оброблення абразивним струменем (ОАС) є одними з найбільш часто використовуваних нетрадиційних методів оброблення.

Для комплексного підходу до вирішення завдання на підприємстві з зачистки задирок, видалення швидкозношувальних мікрорельєфа труться, частинок оброблюваного матеріалу й інструментів, ураховуючи раціональне співвідношення вартості виготовлення виробів і експлуатаційних витрат потрібні досить висока професійна підготовка і технічний досвід. Різноманітність фізичних властивостей матеріалів, конструкцій деталей, умов формування поверхонь призводить до виникнення відповідної різноманітності ліквідів. Для їх видалення використовують механічні, хімічні, електрохімічні, фізичні і комбіновані методи, на сьогоднішній день – їх більше ста двадцяти. Це свідчить як про важливість проблеми, так і про складність її вирішення.

Вибір способу видалення задирок повинен ґрунтуватися на чіткому розумінні призначення деталі, властивостей матеріалу, форми, розмірів, точності оброблення, місць розташування задирок, їх величини та причин видалення, необхідної якості кромки і поверхонь, обсягу виробництва. При цьому також слід мінімізувати вартість оброблення, забезпечуючи необхідну якість виробів.

3 МЕТОДИ ВИДАЛЕННЯ ЛІКВІДІВ І ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Загальною метою всіх технологій очищення і оброблення поверхонь деталей є досягнення властивостей, необхідних для їх нормального функціонування. Встановлено близько 20 різних функціональних властивостей поверхні, на які впливає її геометрія (адгезія, тертя ковзання при проходженні і коченні, антикорозійні властивості, теплопередача, утримування мастила і т. д.). Тому в кожному конкретному випадку для досягнення високого рівня функціональних властивостей деталей гідравлічних агрегатів, приладів, пар тертя необхідно індивідуально створювати потрібний стан поверхонь. Вибір технології очищення і формування мікрорельєфу зале-

жить від матеріалу, форми, розмірів і точності деталей, подальшого оброблення, ступеня забруднення поверхонь, а також від їх призначення, умов експлуатації, вимог до безвідмовності та ін.

У таблиці 3.1 наведено основні методи оброблення та очищення поверхонь і кромки деталей.

Таблиця 3.1 – Класифікація методів оброблення та зачищення деталей

Група	Підгрупа	Метод	Продуктивність
Механічні	Слюсарні, лезові деталі*	Ручний, механізований різцевий, фрезерний, дисковий, свердлильний, протяжний, щітковий, еластичними кругами	1
	Абразивні* деталі	Еластичний без СОЖ, стрічковий без СОЖ, абразивний без СОЖ, алмазний без СОЖ, магнітно-абразивний без СОЖ, кріогенно-абразивний	2–4
	Тиск	Прокаткою, штампувальний	3–5
	Ударні*	Піскоструминний, дробильний, пневмодробоструминний пневмошариковий, пневмобойковий, крайцувальний, пневмоплатошариковий, кріогенно-дробоструминний	3–5
	Галтувальні без СОЖ*	Галтувально-абразивний, галтувально-обкатний	8–10
	Відцентрові без СОЖ*	Центробіжно-абразивний, центробіжно-обкатний, центробіжно-кордовий	8–10
	Турбуляційні без СОЖ*	Турбуляційно-абразивний, турбуляційно-обкатний	8–9
	Вібраційні без СОЖ*	Віброабразивний без СОЖ, віброобкатний без СОЖ, віброкордовий без СОЖ	15–20
Робототехнічні*	Лезовий інструмент, струменем рідини та абразиву	3–5	
Хіміко-механічні	Абразивні з СОЖ*	Еластичний у СОЖ, стрічковий у СОЖ, абразивний у СОЖ, алмазний у СОЖ, магнітноабразивний у СОЖ	3–5
	Гідродинамічні*	Гідродробеструминний, гідропіскоструминний, гідрокавітаційний, гідрокавітаційно-абразивний	3–5
	Галтувальні із СОЖ*	Галтувально-абразивний, галтувально-обкатний, галтувально-кордний	9–10
	Відцентрові із СОЖ*	Відцентрово-абразивний у СОЖ, відцентрово-обкатний у СОЖ, відцентрово-кордний у СОЖ	9–10
	Вібраційні з СОЖ	Віброабразивний з СОЖ, віброобкатний з СОЖ, віброкордний з СОЖ	10–11

Продовження таблиці 3.1

Група	Підгрупа	Метод	Продуктивність
Хімічні	Хімічні	Хімічний із зануренням	10
	Термохімічні	Термохлорний, термокисневий	15
	Галтувальньо-хімічні	Галтувальньо-хімічний	10–12
	Турбуляційно-хімічні	Турбуляційно-хімічний, турбуляційно-хімічно-механічний	12–18
	Віброхімічні	Віброхімічний	17–20
Електрохімічні	Електрохімічні із занурюванням	Анодний, катодний, реверсивний, електрогідратний	10–12
	Електрохімічні локальні	Електрохімікомеханічний, електрохімікогідравлічний	5–6
	Галтувальньо-електрохімічні	Галтувальньо-електрохімічний, галтувальньо-електрохімічно-механічний	9–12
	Віброелектрохімічні	Віброелектрохімічний, віброелектрохімічно-механічний	15–20
	Електроімпульсне полірування	ЕІП (електроліт- слабкий розчин солей)	
Фізичні	Ультразвукові	Ультразвукохімічний, ультразвуковий, ультразвуколокальні, Кріогенно-ультразвуковий	7–8
	Електроконтактні	Переривальний, з попереднім заморожуванням	5–6
	Термічні	Плавлення у високотемпературному рідкому і газовому середовищах	10–15
	Імпульсні	Вибуховий, електрогідравлічний, термоімпульсний газовий, термоімпульсний газовий з накладенням електричного поля, термоімпульсний з накладенням механічних впливів на деталі; лазерний	20–40 та більше
	* – утворюють вторинні ліквіди		

Так, застосування механічних і абразивних методів у виробництві аерокосмічної техніки обмежене продукуванням вторинних більш дрібних задирок і шаржуванням поверхонь абразивом. При цьому мікрозадирки і частинки мають велику проникну здатність: вони непомітні неозброєним оком, їх складно контролювати. Відомо, що масове забруднення ними робочих рідин призводить до зниження ресурсу виробів (див. рисунок 3.2).

Ураховуючи фізико-хімічний вплив на матеріали при обробленні, існуючі методи оброблення та очищення деталей можна ділити на п'ять груп, кожен з яких теж поділяють на підгрупи. Різноманіття методів однак не вирішує проблем вітчизняного машинобудування тому, що накопичений досвід використання багатьох технологій є малодоступним. Відставання в

цій області техніки і технологій нашого машинобудування призвело до того, що використовують в основному технології та обладнання зарубіжних країн, які відрізняються малою універсальністю і розроблялися під спеціалізовані промислові підприємства.

Для комплексного оброблення деталей вітчизняному машинобудівному заводу необхідно використовувати близько 10–15 методів. Така кількість технологій створює проблеми в організації їх використання. Кваліфіковане застосування обробно-зачисних технологій в нашому машинобудуванні, зокрема в авіаційному виробництві, дозволить знизити собівартість і домогтися конкурентної спроможності виробів. Дослідження впливу твердих частинок на експлуатаційні характеристики авіаційних гідротопливних агрегатів показали підвищення ресурсу в три рази при очищенні 100 % деталей, що належать до автономної гідравлічної системи [18,19].

3.1 Механічні методи

Найбільш численна група методів, при яких видалення задирок здійснюється шляхом механічного впливу на оброблювані деталі різальних інструментів і твердих тіл. Необхідно знати, що будь-яка металорізальна операція утворює задирки як на початку контакту з деталлю, так і при виході інструмента з цього. Видалення задирок лезовим інструментом супроводжується утворенням вторинних, більш дрібних, задирок (рисунок 3.1).

Тому при виборі методів та інструментів необхідно враховувати вплив зазначеної особливості такого оброблення деталей на якість і працездатність відповідних машин і механізмів.

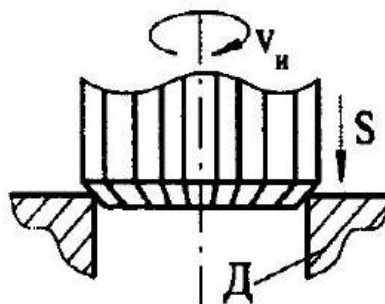


Рисунок 3.1 – Схема оброблення деталей лезовим інструментом

Методи на базі використання твердих тіл для зачищення деталей також широко застосовуються в машинобудуванні. Вони відрізняються продуктивністю, робочими тілами (абразиви, дрібметали, скляні кульки, дерев'яні пірамідки і кубики і т. п.). Методи, які використовують абразивні матеріали, можуть змінювати розміри деталей, шаржовані поверхні. Вида-

лення шаржуванням частинок – більш тривала операція, ніж зачищення задирок. У будь-якому випадку, щоб уникнути негативних наслідків від застосування того чи іншого методу, слід виходити з функціонального призначення деталей і механізмів.

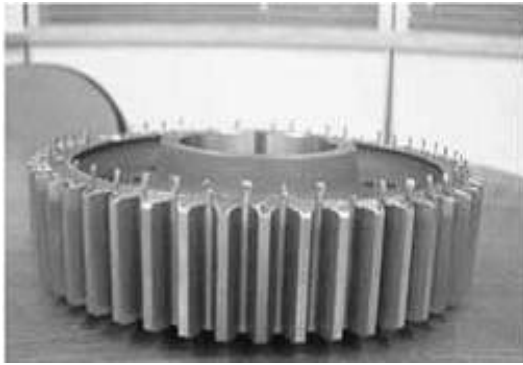


Рисунок 3.2 – Ручне зачищення

1. *Механізм зняття задирок.* Задирки оброблюються з використанням стандартних або спеціальних різальних інструментів. Спеціальні верстати, обладнані пристроями ЧПУ або пристроями керування від кулачків, програмуються для шабрування і/або зняття фасок з певних кромek із задирок.

2. *Використовувані матеріали.* Швидкорізальні сталі або твёрдосплавні інструменти, фрези для контурного фрезерування або спеціально сконструйовані інструменти.

3. *Типові матеріали заготовок:* метали і пластмаси.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Задирки повинні бути доступні різальним інструментам. Процеси обмежено підходять для зняття внутрішніх задирок. Ефективні для видалення задирок у широкому діапазоні їх розмірів.

5. *Товщина задирок.* Можуть бути видалені задирки майже будь-якої товщини.

6. *Вплив на поверхню деталей* – ніякого.

7. *Типове застосування.* У шестернях, головках шатунів. Зазвичай застосовуються у великосерійному виробництві з задирків різних розмірів у різних місцях.

8. *Типовий час циклу.* Між 10 – 30 с (автоматизований спосіб).

3.2 Зняття задирок обертовими щітками

У промисловості використовують кілька десятків типів щіток як у ручному інструменті, так на різних типах верстатів: свердлильних, токарних та інших (рисунок 3.3).

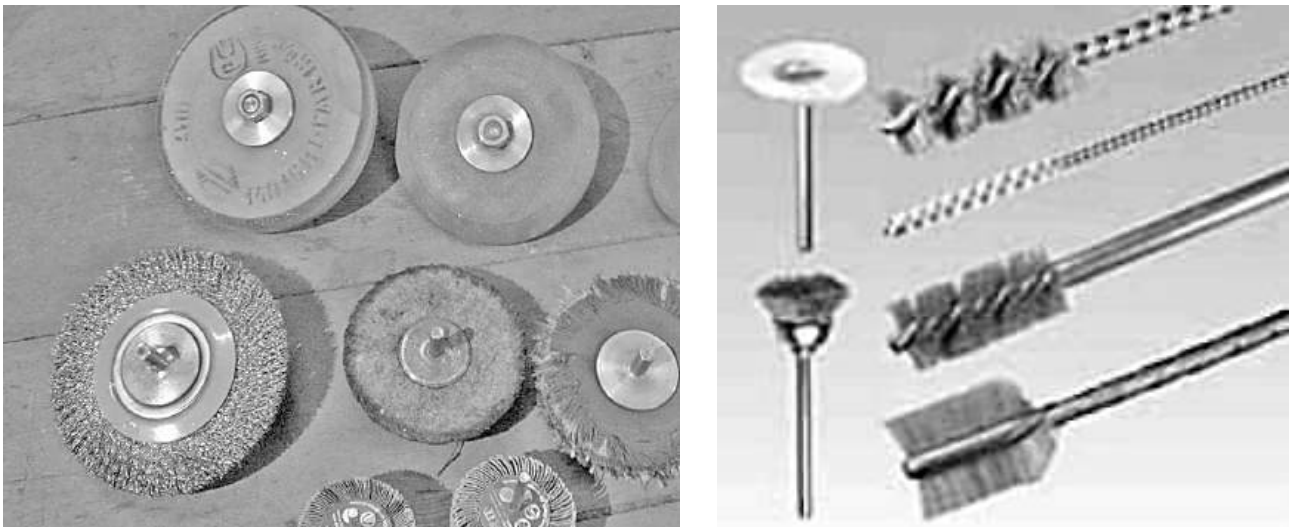


Рисунок 3.3 – Види щіток і приклади їх використання

1. *Механізм зняття задирок.* Задирки видаляються, кромки заготовок вибірково закругляються по радіусу за рахунок абразивної або різальної дії обертальних привідних щіток. Мікрофініш і полірування часто здійснюються одночасно. Мокре або сухе оброблення щітками – ручне, напівавтоматичне і автоматичне.

2. *Застосовувані матеріали для щіток.* Сталь, нержавіюча сталь або щітка з дроту інших металів, синтетичні волокна, волокна, заповнені абразивом, та інші. Щітки для оброблення торців і бічних граней - дискі і чашкоподібні.

3. *Типові матеріали заготовок.* Метали, деякі види кераміки і пластмаси.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Задирки повинні бути доступні обертливим щіткам. Однак гнучка щітка часто проходить по контуру заготовки, так що недоступні грані іноді можуть бути доступні. Щітками в основному

обробляють зовнішні межі, але іноді обробляють отвори і доступні внутрішні межі.

5. *Товщина задирок.* Дослідження на дрібних деталях свідчать про те, що найбільше сприятимуть для дротяних щіток деталі з задирками товщиною менш 0,075 мм. Щітки з волокнами, наповненими абразивом, можуть застосовуватися для зняття більших задирок.

6. *Вплив на поверхню деталей.* Місцеве полірування. Тенденція до зняття напружень високих концентрацій в деяких матеріалах.

7. *Типове застосування.* Знімаються задирки зі сталевих кованих головок шатунів на верстаті з поворотним столом зі швидкістю 1000 шт/год. Обробляються ланцюгові зірочки велосипедів, ротори, клапани і рами вікон автомобілів.

8. *Типовий час циклу.* Автоматичне обладнання зі спеціальним оснащенням продуктивністю понад 2500 шт./год. Зазвичай замовляється обладнання необхідної продуктивності.

3.3 Оброблення абразивним інструментом

Схема абразивного оброблення подібна схемі лезового, але використовують всілякі абразивні круги, насадки та інші інструменти. Застосовують при цьому електричні та пневматичні ручні машинки (рисунки 3.4 і 3.5).



Рисунок 3.4 – Абразивні насадки

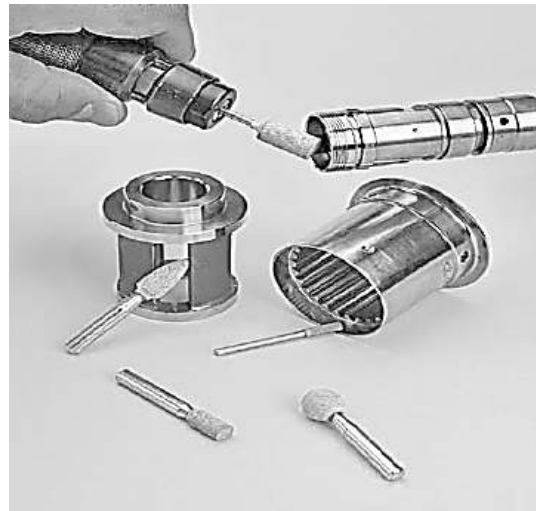
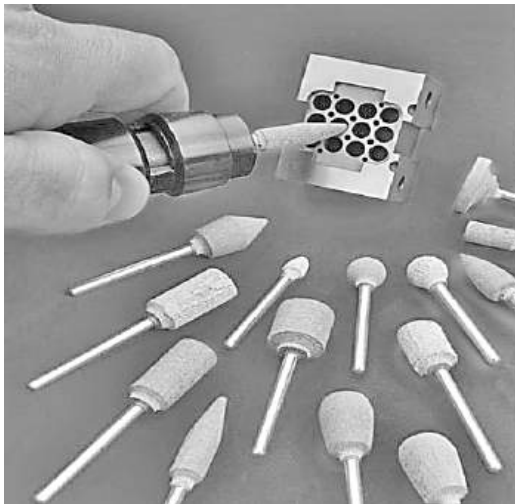


Рисунок 3.5 – Абразивні насадки та приклади їх застосування

3.4 Абразивна стрічка

Абразивною стрічкою знімають задирки на зовнішніх поверхнях деталей, доступних для оброблення (рисунок 3.6). Під час оброблення можливі місцеві зміни розмірів у межах 0,05 мм.

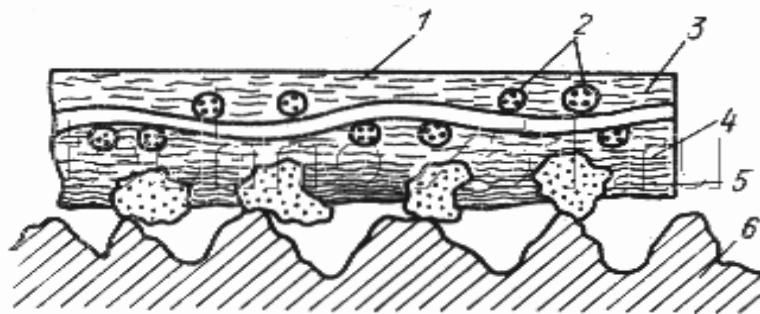


Рисунок 3.6 – Схема процесу оброблення абразивною стрічкою:
1 – стрічка-основа; 2 – пряжа нитки; 3 – 4 зв'язка; 5 – абразивні зерна;
6 – оброблювана поверхня

1. *Механізм зняття задирок.* Задирки знімають за допомогою стирання: заготовку вводять у контакт з рухомою стрічкою, на якій нанесені абразивні частинки.

2. *Використовувані матеріали:* карбід кремнію, окис алюмінію або інші абразивні зерна, нанесені на гнучкі стрічки.

3. *Типові матеріали заготовок:* метали, деякі пластмаси.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Задирки повинні знаходитися зовні і бути доступними. Задирки з деталей складної конфігурації знімаються при

їх ручній орієнтації. Плоскі або циліндричні заготовки обробляються на стандартних поточних верстатах.

5. *Товщина задирок, що знімаються*, має бути не вище 0,25 мм. Розміри задирок часто замірюються вручну або автоматично перед їх зняттям.

6. *Вплив на поверхню деталей*. Змінення чистоти поверхні та втрата припуску на оброблення зазвичай менше 0,05 мм.

7. *Типове застосування*: штамповані деталі, плити, вали із зовнішніми задирками.

8. *Типовий час циклу*. Для заготовки з ручною від 30 с до 3 хв. На стандартних поточних автоматизованих верстатах з швидкість подачі від 3000 до 7500 мм/хв.

3.5 Абразивний потік

1. *Механізм зняття задирок*. Кромка і поверхні заготовки, внутрішні або зовнішні стираються шляхом пропускання крізь абразивне середовище. Під тиском це середовище виходить з однієї камери через заготовку, або навколо неї в іншу камеру. Напрямок потоку змінюється, і цикл повторюється (рисунок 3.7).

2. *Застосовувані матеріали*. Середовище нагадує замазку, містить окис алюмінію або карбід кремнію, боразон або частинки алмазу.

3. *Матеріали заготовок*: метали, пластмаси та кераміка.

4. *Вимоги до геометрії виробів*. Найбільш абразивна дія спостерігається в точках найбільшого опору потоку, задирки в глухих отворах не можуть бути видалені. Розміри деталей: шестерні діаметром 1,5 мм, втулка турбін діаметром до 1200 мм.

5. *Товщина задирок, що знімаються*, успішно застосовується для деталей з товщиною задирок менше 0,25 мм. Спосіб особливо ефективний для зняття задирок і заокруглення радіусів внутрішніх отворів клапанів, форсунок і аналогічних деталей.

6. *Вплив на поверхню деталей* – полірування і заокруглення радіусів. Виявляється вплив на поверхні, що приєднуються до поверхонь або розташовані недалеко від поверхонь обмеження потоку. Селективне зняття задирок і заокруглення радіусів здійснюються за допомогою контролю проходження потоків середовища спеціальними пристосуваннями.

7. *Типове застосування*: впускні, вихлопні і прохідні вікна двотактних двигунів; заокруглення радіусів і полірування зі швидкістю виготовлення 200 штук/год. Максимальний радіус заокруглення – 0,12 мм. Клапани з нержавіючої сталі та інших металів.

8. *Типовий час циклу* – 2 хв на зняття задирок. Закріплення кількох деталей в спеціальних пристроях збільшує вихід деталей за один цикл (цей процес зазвичай не автоматизовано). Деталі повинні очищуватися від середовища.

3.6 Абразивний струмінь

Видалення задирок розпиленням абразиву, що утворює потік твердих частинок з високою швидкістю, який спрямовують на деталь із задирками. Поєднання абразивного впливу і сили удару забезпечує очищення кромки і поверхні деталі. Цей процес являє собою вдосконалене піскоструминне очищення. Як абразивні частинки можуть бути використані маленькі скляні кульки, сухий лід, різний металевий дріб, природні та синтетичні мінерали (рисунок 3.8).

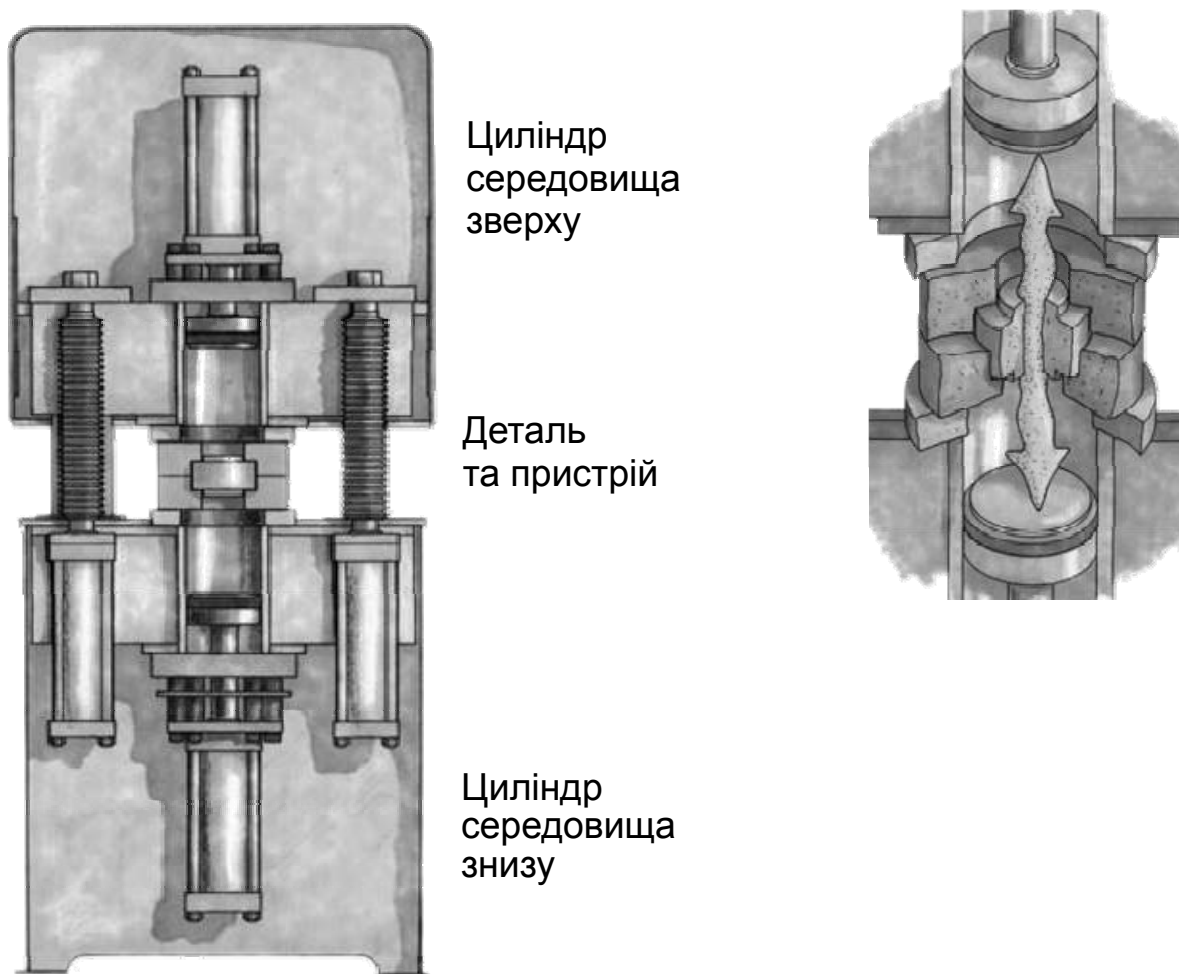


Рисунок 3.7 – Схема оброблення абразивним потоком

1. *Механізм зняття задирок.* Мокрий або сухий струмінь абразивних частинок спрямовують на задирки під певним кутом, з певним тиском протягом певного періоду для зняття задирок, заокруглення радіусів, очищення та полірування в певному місці.

2. *Використовувані матеріали* - сухий струмінь: скляні кульки, шка-ралупа волоських горіхів, окис алюмінію, карбід кремнію, пластмаси; мокрий струмінь: дріб з відпущеної литої сталі або зерна з водою, що містить інгібітори корозії, сповільнювачі утворення піни.

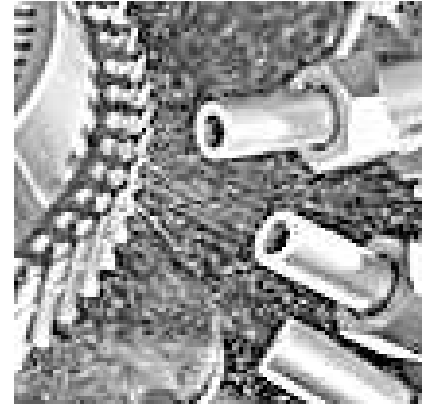


Рисунок 3.8 – Установка для струменевого оброблення

3. *Типові матеріали заготовок:* метали і пластмаси.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Задирки повинні бути доступні абразивному струменю. Заготовка з дуже тонкими перетинами може деформуватися.

5. *Товщина задилок, що знімаються:* процес зазвичай найбільш ефективний при видаленні задилок товщиною менше 0,12 мм.

6. *Вплив на поверхню деталей.* Матеріали високої ковкості можуть піддаватися надмірній пластичній деформації. Вплив на чистоту поверхні і допуски на розміри можуть надаватися в локальних зонах. Вимірювання розмірів - зазвичай менше 0,025 мм.

7. *Типове застосування:* кулачкові валики, кришки підшипників, коробка передач і шестерні. З поршнів сталі задирки знімаються в зоні кільцевих канавок. Товщина задилок - 0,05 ... 0,10 мм.

8. *Типовий час циклу:* від 0,5 до 5 хв на деталь на автоматичному верстаті, на багатопозиційному верстаті-автоматі – 500 шт./год з автоматичною мийкою.

3.7 Галтування

Використовуючи галтування різних типів, можна отримати такі результати (рисунки 3.9 – 3.11).

Магнітні – видалення оксидної плівки, залишків формувальної маси (використовується після лиття), зняття задилок і нерівностей.

Відцентрові – «вологе» і «сухе» шліфування та полірування виробів; при використанні цих галтівків поверхня виробу вирівнюється.

Роторні – ущільнення, обдирання, шліфування полірування виробів (більш делікатний вплив наповнювача порівняно з відцентровим галтуванням).

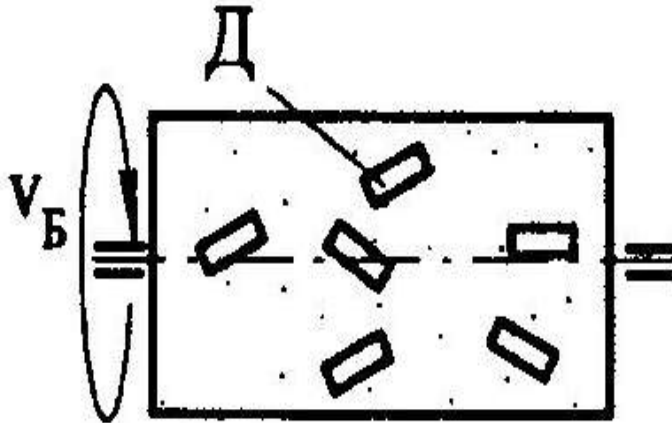


Рисунок 3.9 – Схема роторного галтування

Вібраційне галтування – шліфування, полірування, видалення облою виливків, округлість гострих кромek (відмінно підходять для оброблення штампованих виробів).

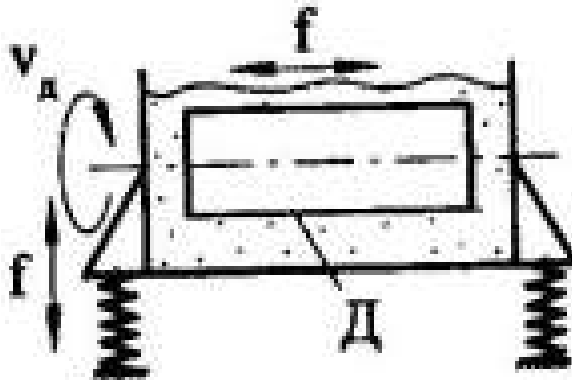


Рисунок 3.10 – Схема вібраційного галтування

У цих видах галтуваннях відбувається накладення вібро- та відцентрового руху наповнювача, тому тривалість оброблення істотно менша порівняно з віброгалтуванням.

Драг-галтування – «сухе» полірування масивних виробів.

Усі види галтування, включаючи їхні модифікації, відрізняються інтенсивністю знімання матеріалу з деталей. Не дивлячись на широкую популярність і давню історію застосування в промисловості, визначення раціональних режимів оброблення не завжди доступно, воно потребує високої кваліфікації персоналу.

1. *Механізм зняття задирків.* Закритий барабан, що містить галтувальне середовище (суміш) і заготовки, обертається, спричинюючи абра-

зивну дію між середовищем і заготовками. У міру обертання барабана відбуваються зняття задирок, закруглення радіусів і полірування завдяки змінним рухам.

2. *Використовувані матеріали:* окис алюмінію або карбід кремнію, укралений в кераміку, сталь та інші матеріали. Частинки середовища утворюють конуси, циліндри, трикутники та інші форми.

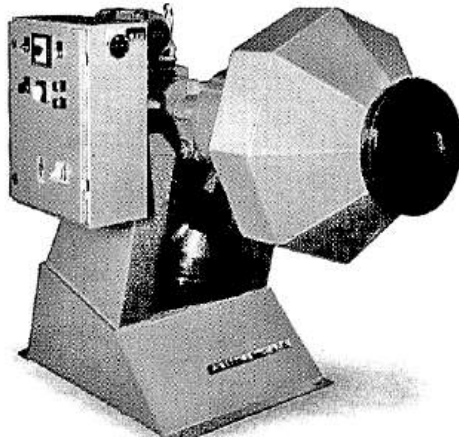


Рисунок 3.11 – Верстат для галтування

3. *Типові матеріали деталей.* Всі метали в пластмасі.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Задирки повинні бути доступні для оброблення. Задирки в глухих отворах будуть збережені.

5. *Товщина задирок, що знімаються.* Маленькі сталеві деталі оброблюються протягом двох годин, при цьому знімаються задирки товщиною 0,075 мм і радіусом заокруглення до 0,125 мм. У алюмінієвих деталей, оброблюваних за тих самих умов, радіуси заокруглення мають дорівнювати 0,75 мм.

6. *Вплив на поверхню деталей.* На відкритій поверхні зазвичай виявляється вплив щодо розмірів деталі і чистоти поверхні. Деякі залишкові напруги змінюються, і може статися вкраплення матеріалу.

7. *Типове застосування:* дужка ременів, оправы окулярів, деталі гвинтонарізних верстатів, хірургічні інструменти.

8. *Типовий час циклу:* від 1 до 20 год. на партію. Розмір партії залежить від ємності барабана. Середовище і заготовки зазвичай завантажуються на 60 % місткості барабана (процес зазвичай не автоматизований).

3.8 Вібраційний метод

1. *Механізм зняття задирок.* Коли заготовка, середовище і суміш вібрують у відкритій бочці або резервуарі, відбуваються зняття задирок, заокруглення по радіусу, доведення поверхні і очищення за допомогою наклепу і абразивної дії середовища на заготовку.

2. *Використовувані матеріали.* В основному ті ж самі, що і при галтуванні.

3. *Типові матеріали заготовок:* метали, кераміка і пластмаси.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Задирки повинні бути доступні віброуючій дії середовища. Внутрішні виїмки у деяких випадках можуть бути оброблені завдяки проникливій дії віброуючого середовища.

5. *Товщина задирок,* що знімаються, аналогічна тій, яка є при галтуванні в барабані. Однак вібраційні методи зняття задирок можуть бути в 15 разів швидше, ніж при галтуванні.

6. *Вплив на поверхню деталей:* такий самий, як при галтуванні.

7. *Типове застосування:* клапани компресорів, алюмінієві поршні компресорів, шестерні садових передач, хірургічні інструменти, цинкові литі важелі, фрикційні диски.

8. *Типовий час циклу:* від 10 хв до 5 год, у середньому 30 хв. В автоматизованих прохідних системах цикли зазвичай становлять від 5 хв до 1 год.

3.9 Оброблення на шпинделі

Шпиндельне оброблення (рисунок 3.12) аналогічне галтуванню, але відрізняється тим, що деталь закріплюється на обертовому шпинделі і поміщується в барабан, що обертається в протилежному напрямку. Абразивне середовище більш інтенсивно знімає задирки і заокруглення кромки.

1. *Механізм зняття задирок.* Зняття задирок, заокруглення по радіусу і поліпшення якості поверхні здійснюються шляхом занурення закріпленої заготовки у відкриту обертову бочку, наповнену абразивним матеріалом. Коли бочка обертається, шпиндель, на якому закріплена деталь, яка також обертається уздовж поздовжньої осі бочки, сприяючи всією поверхнею заготовки швидко переміщуватися абразиву.

2. *Використовувані матеріали:* дрібнозернистий окис алюмінію. Вибірково сформований окис алюмінію або попередньо сформоване керамічне середовище для більш інтенсивного зняття задирок. Середовище – з м'якого абразиву для доведення поверхні.

3. *Типові матеріали заготовок.* Метали і пластмаси.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Знімаються зовнішні задирки. Зняття внутрішніх задирок обмежене геометрією заготовки (доступом потоку шламу до внутрішніх задирок). Зазвичай деталі діаметром менше 300 мм оброблюються на стандартних верстатах.

5. *Товщина задирок, при галтуванні.* Оскільки деталі закріплені, не існує небезпеки їх зіткнення. Так як геометрія абразивів вибіркова і має малі розміри, процес особливо ефективний при знятті задирок з незвичайних контурів і виїмок, таких, як простір між зуб'ями шестерень.

6. *Вплив на поверхню деталей.* У деяких випадках можуть бути: шаржування, зняття напружень. Змінюються чистота поверхні і розміри деталей.

7. *Типове застосування.* Бронзові кожухи підшипників, зняття задирок і закруглення по радіусу, цикл – хвилини.

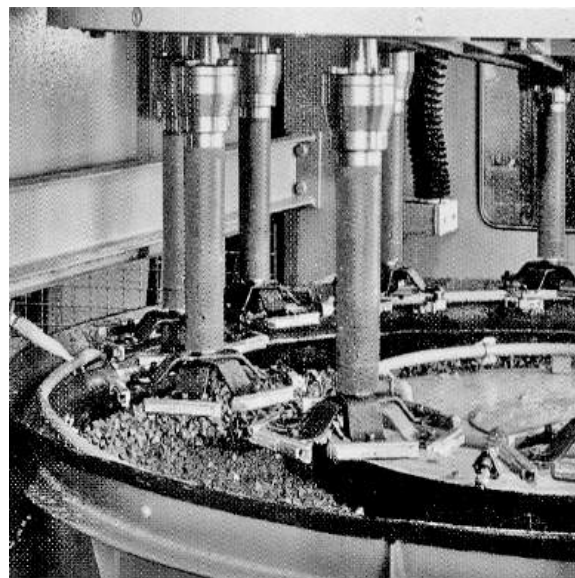
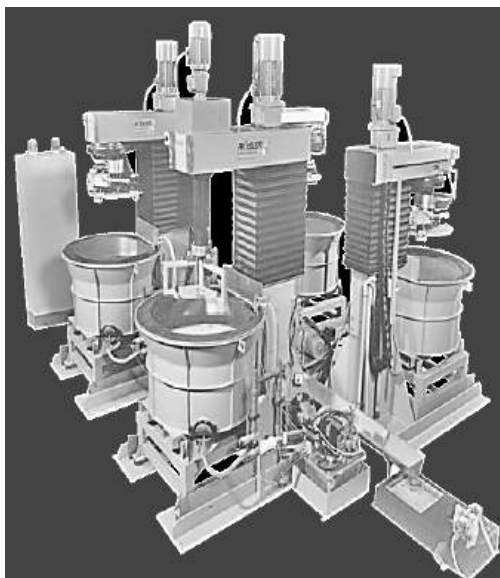


Рисунок 3.12 – Шпindelьне оброблення

Алюмінієві шестерні: зняття задирок і закруглення по радіусу – час циклу 40 с. Пластинки твердосплавного режучого інструмента – рівномірне закруглення по радіусу (час циклу – 6 с).

8. *Типовий час циклу* – в середньому 10 с – 2 хв). Стандартне обладнання, несуче – до 14 шпинделів. Базова модель має два шпинделі: один завантажується і розвантажується, в той час як інший занурений у шлам. На один шпindel можна завантажувати більше однієї деталі, збільшуючи продуктивність верстата (зазвичай процес не автоматизований).

3.10 Оброблення у відцентровому барабані

1. *Механізм зняття задирок.* Заготовка, середовища і суміш знаходяться у закритих обертових барабанах, які змонтовані по периферії револьверної головки. Коли револьверна головка обертається у протилежному напрямку, за рахунок дії абразивного середовища, ковзної в безперервному русі проти заготовок, відбуваються зняття задирок, закруглення по радіусу і доведення поверхонь.

2. *Використовувані матеріали:* аналогічні тим, які застосовуються при галтуванні в барабані.

3. *Необхідні матеріали деталей*: метали, пластмаси і деякі види кераміки.

4. *Зменшення дії у глухих отворах або виїмках*, де діаметр менше за глибину виїмки. Ніяких обмежень на малі розміри деталей немає. Є стандартні машини для деталей діаметром до 500 мм.

5. *Товщина задирок*, що знімаються, подібна товщині задирок у галтувальному барабані. Однак зняття задирок здійснюється значно швидше завдяки великим відцентровим зусиллям, які в 25 разів перевищують силу тяжіння. Удари (зіткнення) мінімальні, тому що заготовка і середовище тісно упаковані.

6. *Вплив на поверхню деталей*. Аналогічний, як при галтуванні, але виходить чистота поверхні до 0,025 мкм (середнє квадратичне); утворюються великі залишкові напруги тиску. Цей побічний ефект часто застосовується при обробленні пружин та інших деталей, які сильно напружені в процесі експлуатації.

7. *Типове застосування*: обойми підшипників, кулькові підшипники, ролики і кожухи; шестерні, спечені металеві деталі, деталі годинників, лопаті турбін і компресорів, ланки ланцюгів, ливарні форми і штампи, невеликі штамповані виливки, точно оброблені деталі.

8. *Необхідний час циклу* – зазвичай від 5 до 20 хв на партію. Тільки великі установки повністю автоматизовані: абразивні матеріали, що застосовуються при галтувальній обробці і форми гранул, що виготовляються промислово.

3.11 Природні абразивні матеріали

На рисунку 3.13 показано абразивні тіла різних форм, що виготовляє промисловість.



Рисунок 3.13 – Типові абразивні тіла, застосовувані при галтуванні

Природні абразивні матеріали бувають таких видів:

- алмаз: алмазоподібна кубічна аллотропічна форма елементарного вуглецю; видобувається в корінних (кімберлітові трубки) і розсипних родовищах;
- корунд: кристалічний оксид алюмінію, як і сапфір, видобувається у розсипах та іноді в рудах;
- гранат: природний мінерал, складається з $R_2 + 3 R_3 + 2 [SiO_4]_3$, де $R_2 + - Mg, Fe, Mn, Ca$; $R_3 + - Al, Fe, Cr$;
- наждак: природний мінерал, складається з корунду і магнетиту - чорного магнітного оксиду заліза Fe_3O_4 ;
- кварц: кристалічний двоокис кремнію, один з найбільш дешевих і доступних абразивних матеріалів;
- крейда: карбонат кальцію, що застосовується для точних видів абразивної обробки (притирання, полірування).

3.12 Синтетичні абразивні матеріали

Синтетичні абразивні матеріали бувають таких видів:

- мінеральний шлак (купрошлак або нікельшлак): застосовується для зовнішнього очищення великих металевих конструкцій;
- колотий/сталевий дріб: застосовується для видалення щільної окалини;
- штучний алмаз: синтез при високому тиску, оброблення твердих сплавів, каменю, скла, кольорових металів;
- кубічний нітрид бору боразон (у Росії кубічний нітрид бору знають як ельбор): синтез при високому тиску. Застосовують при шліфуванні деталей з різних сталей і сплавів;
- сплав бор-вуглець-кремній: сплавлення бору з вуглецем і кремнієм у дуговій печі, оброблення чорних і кольорових металів, каменю, скла та ін.;
- карбід бору: оброблення твердих сплавів, скла, чорних металів;
- карбід кремнію: оброблення твердих сплавів, кольорових металів і титану;
- нітрид кремнію: оброблення чорних і кольорових металів;
- нітрид алюмінію: оброблення металів;
- електрокорунд: оброблення чорних металів, зрідка – каменю і скла;
- оксид цирконію (фіаніт): оброблення чорних і кольорових металів;
- двоокис церію: оброблення скла (полірування);
- двоокис олова: оброблення скла, полірування металів;
- окис хрому: полірування чорних і кольорових металів;
- двоокис титану: полірування кольорових металів;
- нові перспективні абразивні матеріали;
- нітрид вуглецю, сплав карбід титану–карбід скандію.

3.13 Хіміко-механічні методи

Видалення задирок та інших ліквідів здійснюється шляхом впливу хімічно активної рідини або газового середовища і абразиву. Їх поділяють на хімічні, галтувально-хімічні, турбуляційно-хімічні та віброхімічні засоби. Суть процесу віброхімічної обробки полягає у спільному впливі на поверхню деталі обробних тіл і хімічних агентів (рисунок 3.14). Безперервно механічний вплив на поверхню деталі сприяє оновленню обробного розчину і видаленню утворених продуктів взаємодії, що дозволяє багаторазово знизити концентрацію (до 5 %) і агресивність хімічних агентів і запобігти нагріванню розчинів.

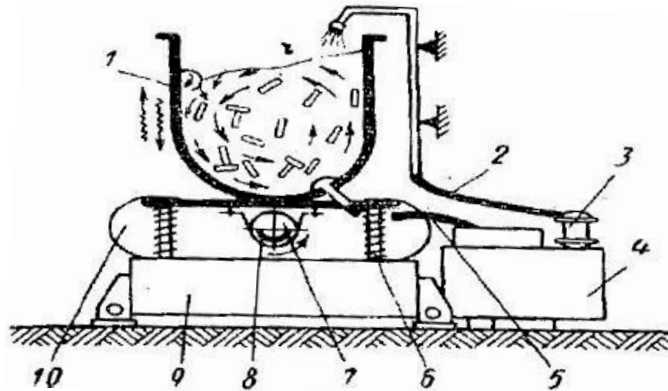


Рисунок 3.14 – Віброхімічна обробка:

- 1 – робоча камера; 2 – шланг подачі розчину;
- 3 – насос; 4 – бак - відстійник;
- 5 – труба для зливу; 6 – пружина; 7 – вал з вантажами;
- 8 – вантаж; 9 – рама-підстава; 10 – стрічкова пружина

3.14 Хімічні методи

Хімічні методи наведені на рикунку 3.15.

Хімічні методи, при яких видалення задирок та інших ліквідів здійснюється шляхом впливу хімічноактивного рідкого або газового середовища, їх поділяють на хімічні, термохімічні, галтувально-хімічні, турбуляційно-хімічні та віброхімічні засоби.

Основою хімічних методів є занурення оброблюваних деталей в резервуар з хімікатами, де відбувається хімічна реакція (рисунок 3.15).

Основні недоліки хімічних методів:

- знижується точність, спостерігається нерівномірне травлення металу з поверхні деталі;
- екологічна небезпека, дорога утилізація відходів;
- неможливість забезпечити гнучкість виробництва.

При контурному травленні на очищену і знежирену заготовку наносять спеціальне лакофарбове покриття (певного складу залежно від за-

стосовуваного розчину для травлення); за шаблоном прокреслюють контур деталі, видаляють покриття з місць травлення, деталь піддають травленню, освітленню і промиванню, після чого очищують від покриття. Контурне травлення може бути одно-, багатоступінчастим і простим.

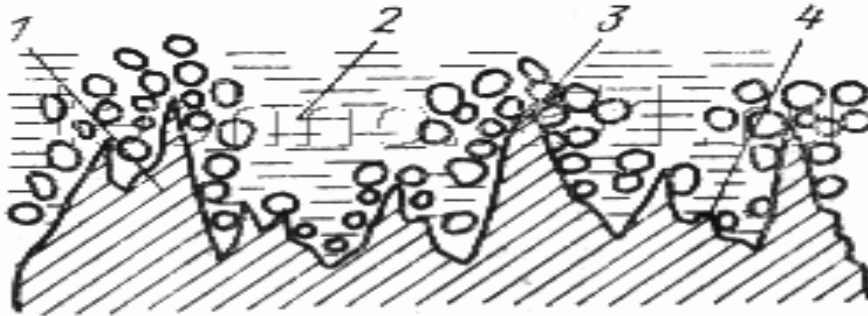


Рисунок 3.15 – Схема процесу хімічної обробки:
1– основний метал; 2– плівка; 3– місце більш активного знімання нерівностей; 4– місце уповільнених реакцій

При обробленні знижується точність, спостерігається нерівномірне травлення металу з поверхні деталі. Це - екологічно небезпечні технології з дорогою утилізацією відходів.

1. *Механізм зняття задирок.* Заготовки занурюють у резервуар, що містить хімікати, зазвичай кислоти. Зняття задирок, закруглення по радіусу, поліпшення поверхні і контрольоване видалення припуску з поверхні здійснюються за допомогою дії хімічних реактивів.

2. *Використовувані матеріали* - кислоти, що містять буфер, хлорид заліза.

3. *Характерні матеріали заготовки:* вуглецеві сталі, нержавіючі сталі, алюмінієві сплави і сплави на основі міді та ін.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Деталі іноді навмисно механічно обробляють з припуском на всі розміри. Потім одночасно здійснюються хімічне зняття задирок і доведення деталей до остаточних розмірів. Застосовується місцева ізоляція для захисту певних поверхонь.

5. *Товщина задирок, які знімаються.* Економічно вигідно знімаються задирки товщиною менше 0,075 мм. Довгі задирки іноді хімічно розм'якшують, потім обробляють галтуванням.

6. *Вплив на поверхню деталей.* Можливе травлення, полірування і освітлення (очищення).

7. *Необхідне призначення:* деталі гвинтонарізних верстатів і ажурні деталі.

8. *Необхідний час циклу* – 15 с –30 хв на партію (на автоматизованих установках).

3.15 Термохімічні методи

При термохімічному методі як джерело тепла використовують горючу газову суміш з надлишком кисню або хлору. Переваги: гнучкість, висока продуктивність, широка номенклатура оброблюваних матеріалів за рахунок змінення співвідношення компонентів горючої суміші.

Недоліки термокисневого методу:

- обмеження за найменшою товщиною елементів деталі;
- відкладення конденсованих окислів на поверхнях деталі, які потім видаляються хімічним травленням;
- висока вартість обладнання.

Недоліки термохлорного методу:

- метод застосовується вкрай рідко через шкідливий вплив на навколишнє середовище.

3.16 Електрохімічний засіб

Електрохімічне видалення задирок відбувається в результаті їх розчинення в електроліті під дією електричного поля. Електроліт знаходиться в зазорі між задирками і електродами спеціальної форми. Найбільша ефективність забезпечується при знятті задирок товщиною менше 0,37 мм. Тривалість процесу оброблення становить від 0,5 до 15 хвилин. Обробляються метали і їх сплави. Метод дозволяє видаляти як зовнішні, так і внутрішні задирки, але потребує великого набору електродів, що повинні відповідати контурам оброблюваних поверхонь. Для видалення задирок великих розмірів необхідне тривале оброблення при набагато більшій силі струму. Крім видалення задирок, відбувається місцеве зняття матеріалу деталі (до 0,25 мм) і місцеве травлення. Крім того, всупереч рекомендації обробляти деталі групами не завжди вдається, тому що без настановної бази неможливо витримати оптимальні зазори (близько 0,2 мм) між електродами і оброблюваною поверхнею у кількох деталей одночасно. Устаткування (насоси, трубопроводи тощо) піддаються корозії. Необхідно підбирати розчин для кожного оброблюваного металу. Метод рекомендується застосовувати для партії деталей не менше 5000 штук [18].

Механізм і закономірності формоутворення

Електрохімічна обробка (ЕХО) основана на електрохімічному (анодному) розчиненні металу заготовки при високій щільності електричного струму. Механізм розчинення металу при ЕХО ґрунтується на електролізі. Це процес, при якому відбувається окислення або встановлення поверхонь електродів (провідників електричного струму), з'єднаних з джерелом

живлення (ДЖ) і розміщених у струмопровідному розчині – електроліті (рисунк 3.16) [8].

Один з електродів (заготовка), приєднаний до позитивного полюса ДЖ, і є анодом, а другий (інструмент) – до негативного полюса і є катодом. В електролітах молекули речовини розпадаються на електрично заряджені частинки - іони, кожен з яких переносить один або кілька електричних зарядів. Кількість позитивних і негативних зарядів, які переносяться іонами, однакове, і тому в цілому електроліт електрично нейтральний.

При ЕХО застосовують такі електроліти, катіони яких (Na^+ , H^+ та ін.) не осідають на поверхні катода, чим забезпечується дуже важлива перевага ЕХО – незмінність форми електрода-інструмента в процесі всього періоду його експлуатації. Згідно з об'єднаним законом електролізу, сформульованому М. Фарадеєм, маса речовини M у грамах, розчинена на електроді, становить $M = K \cdot I$. Насправді, кожен компонент сплаву має свій електрохімічний еквівалент, тобто свою швидкість анодного розчинення. Внаслідок цього в процесі оброблення виникають поглиблення і виступи, що формують макропрофіль і шорсткість поверхні.

Залежно від способів виконання ЕХО всі операції електрохімічного розчинення поділяють на дві різні групи, кожна з яких має свої закономірності:

- операції, що виконуються в стаціонарному електроліті при невисокій густині струму;
- операції, що виконуються в проточному електроліті при високій густині струму.

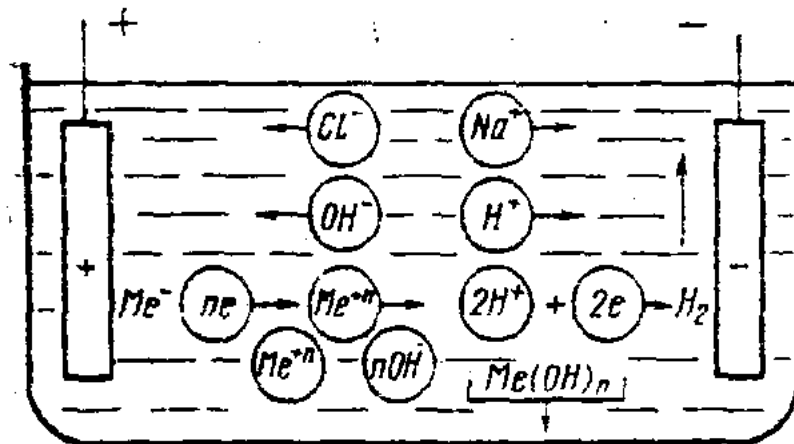


Рисунок 3.16 – Схема електрохімічної обробки

Електрохімічне оброблення в стаціонарному електроліті поділяють на полірування, профілювання (копіювання), загострення, доведення.

Електрохімічне оброблення в проточному електроліті поділяють на профілювання (копіювання), прошивання каналів і отворів, розрізування і т.д.

1. *Механізм зняття задирок* – згідно з об'єднаним законом електролізу, сформульованому М. Фарадеєм: маса речовини M у грамах, розчиненої на електроді, становить:

$$M = K \cdot I \cdot t_e,$$

де K – електрохімічний еквівалент речовини;

I – сила струму, що проходить через електроліт, А;

t_e – час електролізу, с.

Задирки розчиняються, коли струм проходить через електроліт, що пропускається через зазори кераміки між задирками та спеціально сконструйованими і позиціонованими електродами.

2. *Використовувані матеріали*: розчини електролітів, звичайна кухарська сіль або нітрат натрію у воді від 0,15 до 0,4 кг/л.

3. Зокрема, матеріали для деталей: сталь, алюміній, сплави магнію, важкі метали та інші електропровідні метали. Процес часто залишає текстуровані поверхні заготовок з високим рівнем кремнію.

4. *Вимоги до геометрії виробів*. Спосіб застосовують для зняття внутрішніх і зовнішніх задирок. Особливо ефективний він для зняття задирок у внутрішніх отворах або там, де ризики від інструментів неприпустимі. Оснащення конструюється індивідуально для певного розташування отворів.

5. *Товщина задирок*, що знімаються, спосіб найбільш ефективний на задирках товщиною або висотою менше 0,37 мм. Зняття більш товстих задирок призводить до збільшення часу циклу і витрат електроенергії.

6. *Вплив на поверхню деталей*. Може статися локальне змінення розмірів (від 0 до 0,25 мм). Можуть відбуватись травлення і локальне знебарвлення. Ці обидва ефекти можуть бути зведені до мінімуму місцевою ізоляцією або шляхом застосування відповідного оснащення.

7. *Типове застосування*. Можуть оброблятися пази кованих сталевих шатунів, кулісні важелі автомобілів, отвори для масла колінчастих валів, деталі силових передач автомобілів, деталі компресорів, корпуси клапанів, шестерні і виливки.

8. *Типовий час циклу*. За одну-дві секунди можуть бути видалені задирки висотою 0,025 мм. Середній час циклу коливається у межах 10–30 с. Іноді у пристрої кріпиться кілька деталей. Деталі повинні промиватися від електроліту щойно після закінчення процесу для видалення залишків солей.

3.17 Електрополірування

Електрохімічна обробка в стаціонарному електроліті має такі види: полірування, профілювання (копіювання), загострення (загострювання), доведення.

На рисунку 3.17 зображено принципову схему електрохімічного оброблення в стаціонарному електроліті для найбільш типової операції – електролітичного полірування.

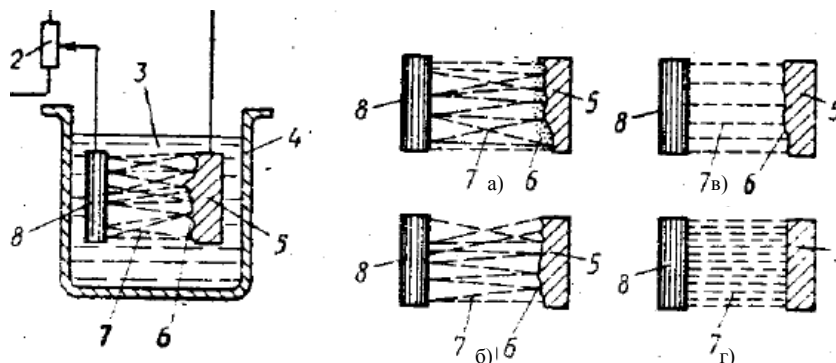


Рисунок 3.17 – Схема електрополірування

Електрохімічну обробку в проточному електроліті підрозділяють на профілювання (копіювання), прошивання каналів і отворів, розрізування і т. д.

Електричний струм, проходячи через електроліт 3 і електроди 8 і 5, спричиняє розчинення поверхні анода 5 в електроліті і утворення продуктів розчинення 6, які, затримуючись у поглибленнях шорсткості поверхні, ізолюють останні від проходження струму, зосереджуючи його силові лінії на незахищених ділянках поверхні анода. Відбувається швидке розчинення виступів, і поверхня анода згладжується.

1. *Механізм зняття задирок і мікровиступів.* Задирки знімаються електролітично, кромка і кути закруглюються по радіусу, поверхні заготовок поліпшуються в міру того, як струм тече від катодів через електроліт і занурену в нього заготовку.

2. *Використовувані матеріали:* кислоти, що містять буфер.

3. *Найбільш поширені матеріали заготовок.* Метали, в тому числі нержавіючі сталі. Обмежене застосування виливків зі сплавів з високим відсотком вмісту кремнію, сірки або вуглецю.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Задирки повинні знаходитися в межах здатності рідини, що покриває електроліт; задирки в глибоких отворах можуть бути не оброблені. Обробляються плити розмірами до 3000 мм.

5. *Товщина задирок, що знімаються.* Процес найбільш ефективний на деталях з товщиною задирок менше 0,075 мм. Чистота поверхні може бути поліпшена до 2-го класу.

6. *Вплив на поверхню деталей.* Можливі розмірні змінення і травлення поверхонь.

7. *Типове застосування.* Штамповані кожухи кулькових підшипників, шестерні зі шліфованими зубцями, чавунні ланцюгові зірочки. Особливо ефективний при знятті мікрозадирок і поліруванні крихких деталей або де-

талей з великою кількістю дрібних отворів (просівних або фільтрувальних елементів).

8. *Типовий час циклу* – від двох до п'яти хвилин (на автоматизованих установках). Деталі щойно після закінчення процесу повинні промиватися від електроліту, щоб уникнути корозії.

3.18 Водяний струмінь

Оброблення задирок за допомогою високошвидкісного струменя рідини (рисунок 3.18) проводять при тиску 6 ... 210 МПа. Використовують воду з домішкою розчинного у воді масла (від 1 до 3 %). Видаляють задирки, доступні впливу струменя товщиною менше 0,075 мм. Обробляють деталі з алюмінієвих сплавів, цинку, чавуну. Продуктивність оброблення становить у середньому від 200 до 500 деталей за годину. Серйозним фактором, що обмежує застосування цього методу, є низька надійність механізмів, що працюють під високим тиском. Обробляють тільки відкриті поверхні.

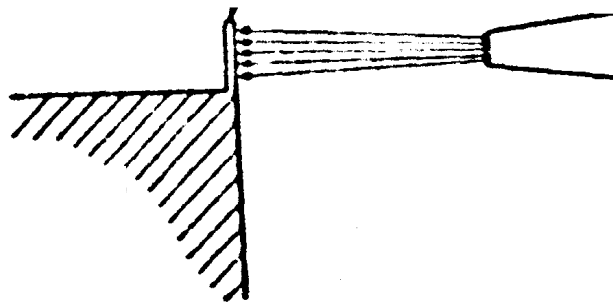


Рисунок 3.18 – Схема видалення задирок струменем рідини

1. *Механізм зняття задирок.* З надзвичайно високою швидкістю під високим тиском (350 кг/см^2) і вище конічні потоки води спрямовують на поверхні заготовок, спричиняючи різання, розмив і відрив задирок від деталей

2. *Використовувані матеріали:* вода з 1...3 %-вим маслом, розчинним у воді.

3. *Типові матеріали заготовок:* алюмінієві сплави, цинк, сталь, чавун, фенольні виливки.

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Задирки повинні бути доступними.

5. *Товщина знімних задирок.* Економічно вигідно знімати задири товщиною менше 0,075 мм – закруглення по радіусу зовсім не відбувається.

6. *Вплив на поверхню деталей* – не спостерігається.

7. *Типове застосування* алюмінієві корпуси клапанів для силових передач автомобілів, цинкові карбюратори, алюмінієві гідравлічні резервуари.

8. *Типовий час циклу*: в автоматизованих системах – 200 та 500 штук за годину.

3.19 Фізичні методи

Оброблення здійснюють шляхом фізичного впливу на матеріал ультразвукових хвиль, електричних розрядів, електрогідравлічних ударів та ін. Ці способи поділяють на ультразвукові, електроконтактні, криогенні та імпульсні – вибуховий, електрогідравлічний, термоімпульсний та ін.

3.20 Ультразвукова обробка

Фізична суть усіх різновидів ультразвукової обробки (УЗО) основана на використанні ультразвукових коливань матеріальних середовищ, що здійснюються з частотами вище порогу чутливості (> 16 кГц). Отримання ультразвукових коливань основане на явищі магнітострикції, при якому відбувається подовження або скорочення деяких матеріалів під дією зовнішнього магнітного поля. Магнітострикцію мають усі феромагнітні матеріали, але найкращими з них є нікель, сплав кобальту із залізом (пермендюр) і сплав алюмінію з залізом (альфер).

Зняття задирок під впливом ультразвуку пояснюється кавітаційно-абразивною теорією. Метод застосовується для дрібних деталей з товщиною задирок не більше 0,08 мм. Час оброблення – 10 – 15 хв. Зменшується величина мікронерівостей поверхні (на один-два класи). Час процесу очищення порівняно з галтуванням за даними американських фірм скорочується в 20 разів. До недоліків слід віднести відсутність серійного обладнання, невивченість процесів, обмежені розміри задирок, що знімаються.

3.21 Електроконтактні методи

При електроконтактних методах використовують для оброблення тепло, що виділяється при протіканні струму через дотичні поверхні, що мають підвищений контакт з електричним опором. Переваги методу: можливість якісного та виробничого видалення задирок і окалини з середніх і великогабаритних деталей; можливість місцевого очищення поверхонь деталей практично будь-яких розмірів. Недоліки: невивченість і недослідженість методу; відсутність серійного обладнання; неможливість оброблення дрібних деталей; збільшення шорсткості оброблюваної поверхні; термічне змінення структури поверхневого шару, утворення вторинних, більш дрібних ліквідів.

3.22 Термічні методи

З фізичних методів зараз найбільш інтенсивно вивчаються за кордоном і в Україні термохімічний і термоімпульсний методи зачищення. В основі цих методів знаходиться нагрів ліквідів та деталей різними джерелами тепла. Але оскільки маса задирок незначна щодо площі поверхні порівняно з тим же показником самої деталі, то задирки прогриваються швидше і або плавляться, або згоряють у середовищі окислювача. Як окислювач використовують хлор або кисень.

Оброблення відбувається одночасно всіх поверхонь, які контактують з продуктами згоряння. При очищенні таким методом тепловому впливу піддаються як елементи, так і вся деталь, що видаляється, тому необхідно забезпечити плавлення елементів і виключити незворотні змінення як в матеріалі, так і в конструкції деталей. Оптимізація режимів очищення експериментальним шляхом – це складна технічна задача. Термоімпульсний процес обробки відбувається в інтервалі від 102 до 106 с при тиску продуктів згоряння, що досягає 25 МПа в теплих середовищах, а також 5000 °С в імпульсі від 3500 до 4000 °С середньої по всьому об'єму газу. Механізм видалення мікрочастинок з поверхонь - це система складних теплофізичних, хімічних, механічних процесів, що взаємно впливають один на одного.

Термохімічний метод набув поширення за кордоном. Як джерело тепла використовують газову горючу суміш з надлишком кисню (до 50 %). Цей метод дозволяє видаляти задирки з деталей будь-якої форми, з отворів малого діаметра, на перетині каналів, тобто там, куди є доступ горючої суміші. В процесі оброблення додаткові задирки не утворюються. До переваг також слід віднести високу продуктивність, універсальність, гнучкість, можливість автоматизації процесу, стабільність результатів оброблення, широку номенклатуру оброблюваних матеріалів за рахунок змінення співвідношення компонентів і маси горючої суміші.

При використанні термохімічного методу відбувається оплавлення задирок одночасно з окисленням. Випуск продуктів згоряння з робочої камери також здійснюється через 3 – 10 секунд, тому оксиди конденсуються на поверхнях деталей, оснастки і робочої камери. На рисунку 3.19 показано класичний вигляд деталі після термохімічної обробки.

Недоліком методу є обмеження щодо найменшої товщини елементів деталі, яка повинна бути не менше, ніж в 10 – 20 разів більше товщини максимального (за розмірами), а також відкладення конденсованих окислів на поверхнях деталей, які видаляються хімічним травленням.

Фірма BOSCH випускає два типи установок: С-подібної і порталної конструкції. Портальна конструкція (рисунок 3.20) являє собою верхній 1 і нижній 2 портали, з'єднані колонами 3, які сприймають технологічні зусилля.

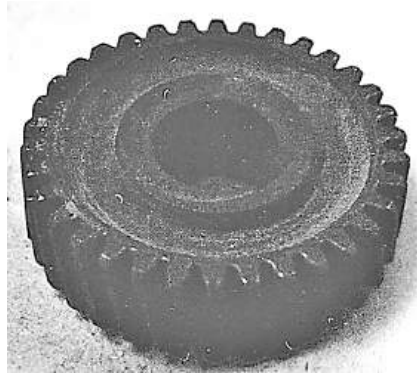


Рисунок 3.19 – Шестерня після термохімічного видалення задирок

На порталі 1 змонтовано робочу камеру 4, дозуючі циліндри 9. У нижньому порталі змонтовано гідроциліндр 5, шток 6, який забезпечує закриття робочої камери 4 змінним денцем 7. Зміна денця проводиться багатопозиційним поворотним столом 8. Установка забезпечена шумопоглинальною кабіною для зниження рівня шуму до 84 дБ.

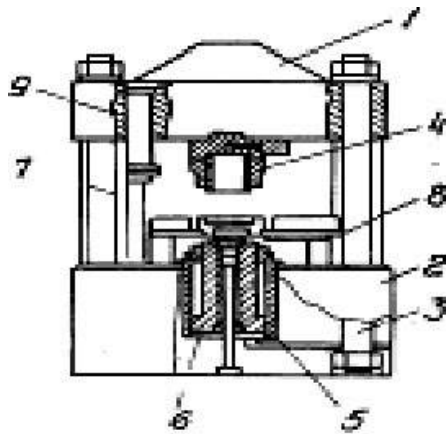


Рисунок 3.20 – Портальна схема установки

Працює установка таким способом. На денці 7 установлюють оброблювані деталі, потім столом 8 встановлюють денце в потрібне положення і за допомогою штока 6 гідроциліндра 5 денцем з деталлю герметизують робочу камеру 4. Зусилля замикання створюються гідроциліндром і можуть досягати 3,5 МН. Після герметизації за допомогою дозуючих циліндрів 9 у робочу камеру подається горюча суміш, яка потім підпалюється, після згоряння газу витримуються більше трьох секунд для зниження їх температури. Після охолодження продуктів згоряння здійснюється розгерметизація камери опусканням денця 7. При цьому продукти згоряння потрапляють через кільцевий зазор, що утворюється між денцем і камерою, у робочу зону. Установки випускаються трьох типорозмірів щодо діаметрів

камери: P320, P250, P200. Висота камери для кожного діаметра може бути 220, 300, 400 мм.

На рисунку 3.21 показано С-подібну конструкцію установки, яка складається з С-подібної силової рами 1, у верхній частині якої змонтовано робочу камеру 2 і дозуючі циліндри 3, а в нижній частині змонтовано запирний механізм, що складається зі штовхача 4, важеля 5 і гідроциліндра 6. Установка забезпечена багатопозиційним столом 7 і змінними піддонами 8.

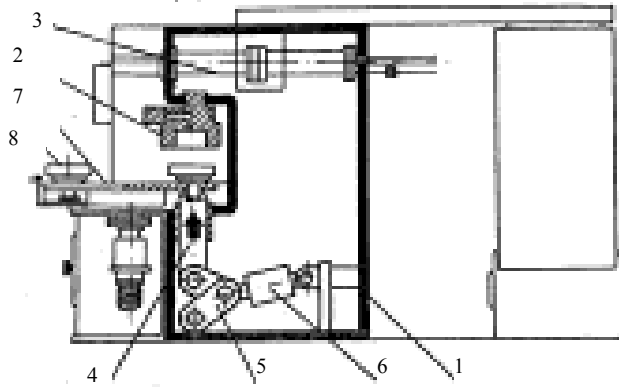


Рисунок 3.21 – С-подібна схема установки

Працює ця установка так само, як і портална. Відмінною особливістю є те, що установки С-подібного типу розвивають зусилля замикавання лише 2 м.Н, а висота камери згоряння обмежена величиною ходу замикаючого пристрою і становить 150 мм.

Аналогічні конструкції установок випускають у США, Англії, Японії, Індії, Китаї. До загальних недоліків цих конструкцій слід віднести порівняно великі габарити і масу, ненадійну роботу вузлів запирання, витримку продуктів згоряння в робочій камері і конденсацію оксидів на поверхнях деталей і камери. Незважаючи на те що продукти згоряння попередньо охолоджують протягом трьох секунд перед випуском, надійність і ресурс ущільнення самого денця залишаються низькими. Такі конструктивні рішення тягнуть за собою велику потужність електродвигуна (25,33 кВт) і потребують застосування гідравлічного насоса високого тиску.

В авіаційній промисловості використовують термохімічний метод та його різновиди. Термоенергетичні методи не знайшли застосування через вище перелічені недоліки.

Термоімпульсний метод відрізняється від термохімічного тим, що домінуючими є теплофізичні процеси, при цьому задирки та інші технологічні забруднення видаляються плавленням з подальшим скиданням продуктів згоряння з робочої камери до початку їх конденсації на поверхнях оброблюваних деталей. На рисунках 3.22 – 3.23 показано типову деталь після термо-імпульсної обробки.

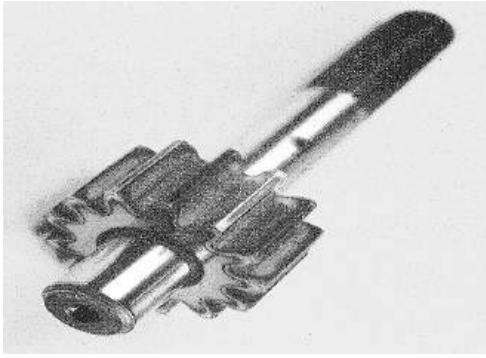


Рисунок 3.22 – Зовнішній вигляд шестерні після оброблення на установці моделі Т15



Рисунок 3.23 – Деталі годинникових механізмів після термоімпульсної обробки

До переваг методу слід віднести гнучкість, високу продуктивність, поєднання операцій очищення і оброблення поверхонь і кромки, можливість обробляти складнопрофільні високоточні деталі включаючи деталі паливної апаратури і деталі годинникових механізмів (див. рисунок 3.23).

Недоліком є обмеження розмірів оброблюваних деталей розмірами робочої камери [18].

На рисунку 3.24 показано робочу зону установки з типовою корпусною деталлю гідроагрегата. А на рисунку 3.25 – установку Т-15, змонтовану на ділянці для термоімпульсного видалення задирок і очищення поверхонь деталей ГТД.

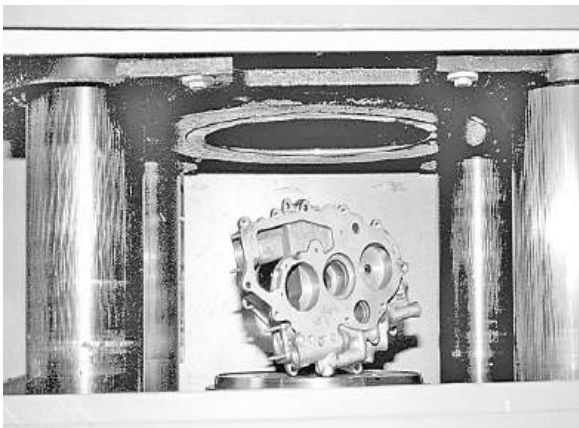


Рисунок 3.24 – Робоча зона установки Т-15



Рисунок 3.25 – Установка Т-15 на заводі

Відмінною особливістю установки Т-15 є можливість регулювання тривалості оброблення деталей, забезпечення автоматичної подачі горючих компонентів у робочу камеру і аварійного випуску горючої суміші в автоматичному режимі, що дозволяє експлуатувати це обладнання в поточних лініях механічних цехів машинобудівних підприємств.

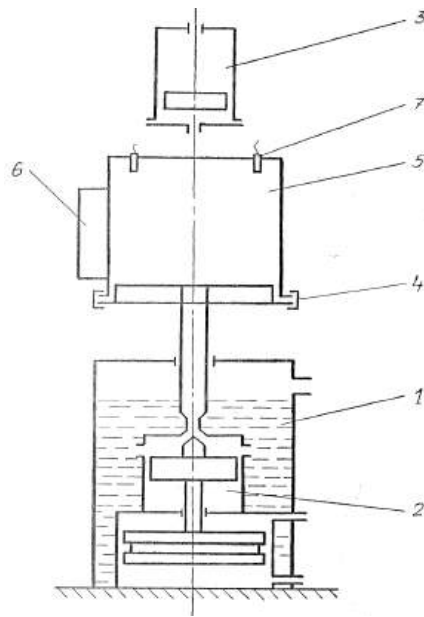


Рисунок 3.26 – Конструктивна схема установки Т-15

З метою поліпшення зручності обслуговування змінено компоновку вузлів. Технічні характеристики розробленого обладнання визначають рівень розвитку цього напрямку техніки і технологій. Порівняно з показниками кращих зарубіжних зразків масу зменшено в три – п'ять разів, габаритні розміри – в два-три рази при одночасному зниженні встановленої потужності електроустаткування в 25 – 30 разів, розширено номенклатуру оброблюваних матеріалів і деталей, в тому числі прецизійних на фінішних операціях.

Розроблене обладнання має більш широкі технологічні можливості, наприклад розмірне округлення кромки.

Установка Т-15 (див. рисунок 3.25) складається з таких основних вузлів: бака-станіни 1 із змонтованим у ньому випускним клапаном 2, силової рами 3, байонетного замка 4, робочої камери 5, блока клапанів 6 для наповнення камери і контролю параметрів горючої суміші.

Алгоритм роботи установки показано на рисунку 3.27.

На нижнє деще встановлюють оброблювані вироби, відкривають байонетний замок, опускають камеру і закривають замок. Потім герметизують робочу камеру закриттям випускного клапана і послідовно наповнюють її палим газом і киснем.

Передбачено два режими роботи, які на схемі (див. рисунок 3.26) докладно розписані. Режим 1 використовується для стабілізації температури стінок робочої камери перед початком роботи, а режим 2 – штатна робота обладнання при обробленні поверхонь і кромки деталей. У циклі роботи передбачений аварійний випуск горючої домішки з камери у разі нештатної ситуації.

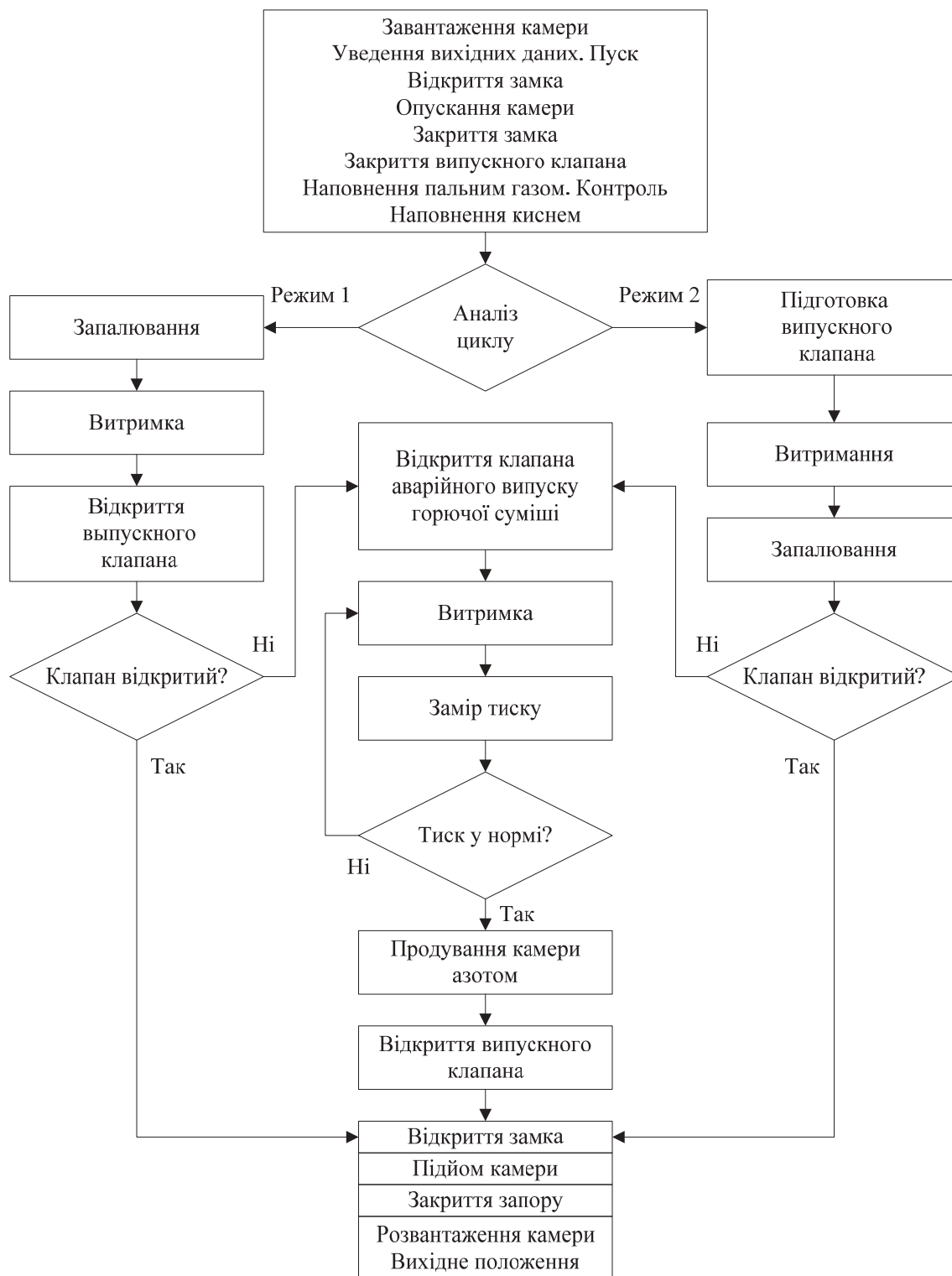


Рисунок 3.27 – Алгоритм роботи установки Т-15

Успішне застосування термоімпульсного методу в умовах виробництва гідропаливних агрегатів літальних апаратів можливе лише при наявності методичних матеріалів, що дозволяють прогнозувати необхідну якість зачистки. Розглянемо умови нагрівання - плавлення задирок. Оскільки ос-

новним критерієм, що визначає оброблення виробів, є теплова енергія, проаналізуємо енергетичний баланс між джерелом і споживачем (деталлями) [21].

Для нагрівання задирок до температури плавлення і самого плавлення необхідно затратити тепло, що визначається за такою залежністю:

$$Q_1 M_{\text{оз}} (T_{\text{пл}} - T_0) + M_3 q_{\text{пит}}, \quad (3.1)$$

де Q_1 - теплоємність матеріалу;
 $M_{\text{оз}}$ - маса задирки;
 $T_{\text{пл}}$ - температура плавлення матеріалу;
 T_0 - початкова температура деталі;
 $q_{\text{пит}}$ - тепло, що йде на руйнування кристалічної решітки.

Тепло, що підводиться від джерела, визначається так:

$$Q_2 = q \tau S_3, \quad (3.2)$$

де q - щільність теплового потоку (потужність джерела тепла);
 τ - час оброблення;
 S_3 - площа поверхні задирки.

Для зачищення задирок необхідно виконати умову

$$Q_2 \geq Q_1. \quad (3.3)$$

Маса видалення елементів деталі (задирок) визначає абсолютну величину енергії, необхідну для нагрівання деталі до заданої величини. При цьому очевидна залежність потужності теплового потоку від величини поверхні задирки і часу підведення тепла. При використанні як джерела тепла горючих газів теплова енергія витрачається через усі поверхні, що контактують з продуктами згоряння.

Тому при визначенні маси заряду, щоб зберегти необхідну щільність теплового потоку (потужність джерела тепла), розрахунок ведеться виходячи з сумарної площі теплопровідних поверхонь:

$$q = Q / \tau (S_K + S_{\text{пр}} + S_D + S_3), \quad (3.4)$$

де S_K - площа камери згоряння;
 $S_{\text{пр}}$ - площа пристосування;
 S_D - площа деталей;
 S_3 - площа задирок;

Якщо врахувати, що площа задирки нескінченно мала порівняно із загальною тепловідводною площею, то можна умовно прийняти її як постійну величину. Таким чином, регульованими параметрами термоімпульсного процесу є потужність джерела тепла і час його впливу на деталі. Аналіз результатів досліджень дозволяє зробити висновок про те, що раціональний час оброблення залежить тільки від теплофізичних властивостей матеріалів і товщини оплавлення елементів. Звідси випливає передбачуваність результатів оброблення при регулюванні двох параметрів. Це дозволило різко розширити можливості методу.

Вибір режимів оброблення поверхонь і кромek реалізується в такій послідовності (рисунок 3.28):

1) визначають характеристику деталі за технологічним процесом і конструкторською документацією (наявність тонкостінних елементів, каналів, вимог до точності і чистоти поверхонь, величина мікронерівностей, теплофізичні властивості матеріалу, наявність різностінності, діапазон розмірів частинок, що видаляються, та ін.);

2) розраховують час оброблення із урахуванням часу прогрівання елементів деталі, а потім визначають потужність q ;

3) розраховують змінення температури елементів деталі за товщиною при оптимальному часі оброблення;

4) визначають параметри термоімпульсного очищення поверхонь деталі;

5) визначають вихідні дані для налагодження устаткування за призначенням деталі;

6) вибирають конструкцію пристосування, визначають завантаження робочої камери і параметри горючої суміші;

7) узгоджують технічні характеристики обладнання з вимогами до якості оброблення деталі;

8) визначають час випуску продуктів згоряння.

Час очищення частинок плавленням необхідно узгодити з часом загасання ударних хвиль у робочій камері при детонаційному згорянні горючої суміші.

Час прогрівання тонкостінних елементів деталі T_d узгоджують з часом випуску продуктів згоряння T_b з робочої камери і з часом загасання ударних хвиль.

Необхідно витримати умови $T_d > T_b$ і $T_d \gg T_{у.хв}$ [21].

Умови оброблення поверхонь і збереження тонкостінних елементів деталі перевіряють розрахунковим шляхом. Часові параметри узгоджують налагодженням обладнання шляхом дозування компонентів горючої суміші, настроюванням клапана граничного тиску, вибором пристосування та ін.

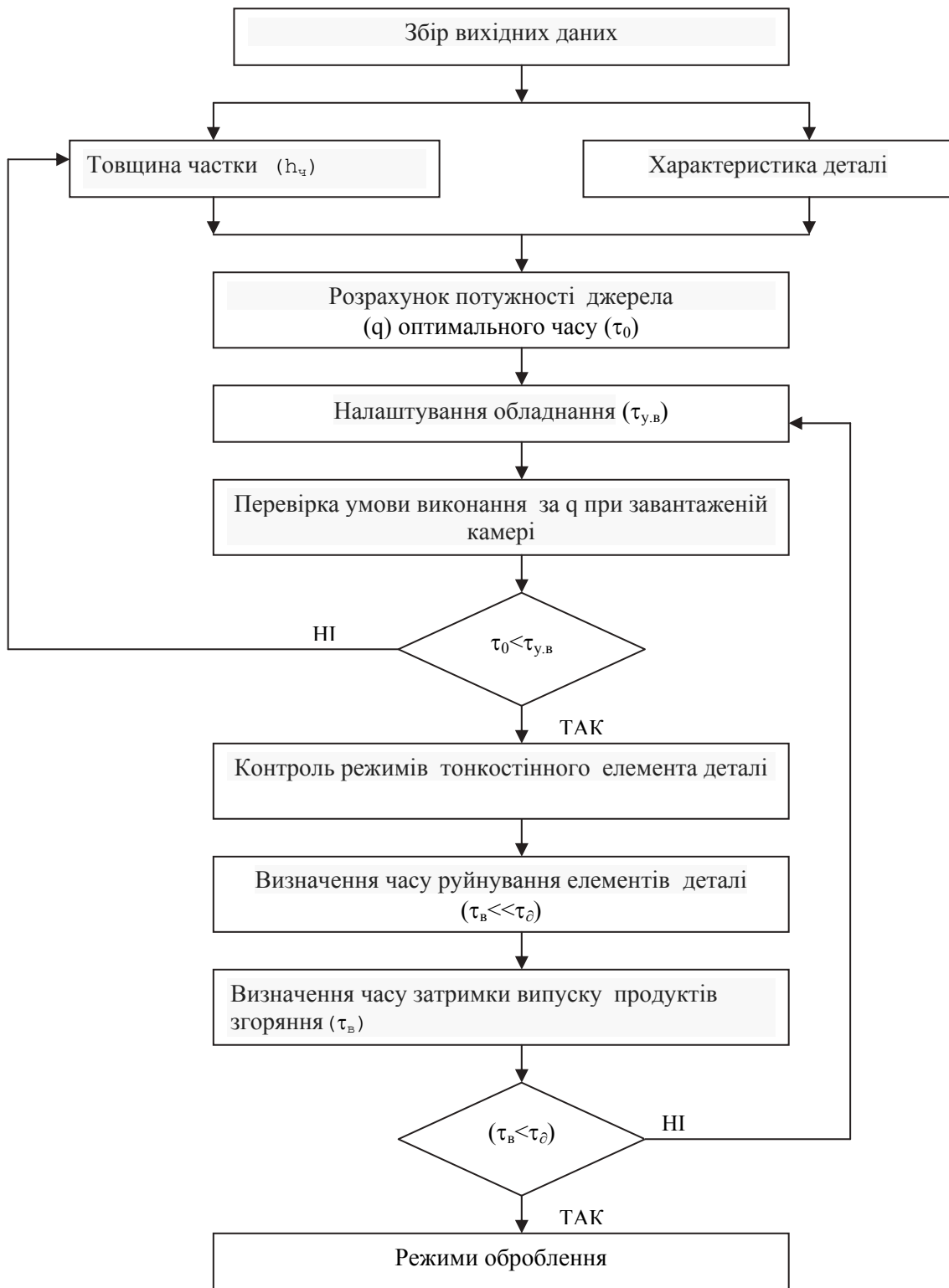


Рисунок 3.28 – Алгоритм вибору режимів видалення ліквідів

Досягнення оптимальних параметрів оброблення. Вирішення цієї технічної задачі дозволило реалізувати термоімпульсний процес. Складність механізму термоімпульсного видалення задирок, що містить тепло-

фізичні, хімічні і механічні явища, а також поєднання вимог до точності, мікрорельєфу і чистоти поверхонь деталей роблять неприйнятною стандартну методику оптимізації режимів з використанням факторного експерименту через величезну кількість експериментів.

Результати досліджень [10, 14, 17, 18] дозволяють зробити висновок про те, що регулювання двох параметрів дає змогу різко розширити можливості методу.

З метою ефективного керування якістю оброблення необхідно визначити фактори, що впливають на вибір режимів технологічного процесу.

За результатами комплексних досліджень і накопиченого досвіду в цій галузі визначені фактори, що характеризують технологічну систему термоімпульсної обробки. Ці фактори впливають на вибір регульованих параметрів оброблення кромки і поверхонь деталей термоімпульсним методом. Визначено дві самостійні підсистеми з групами факторів, що характеризують деталь, і які стосуються устаткування.

Вони узгоджуються між собою за двома параметрами – потужністю джерела тепла і тривалістю процесу. Для деталей ці параметри є вихідними, а для обладнання – вхідними.

Щоб визначити необхідні параметри (потрібну енергію) при термоімпульсному обробленні деталей, необхідно враховувати: температуру, питому теплоту плавлення, теплопровідність, теплоємність і густину матеріалу, геометричні розміри елементів, що видаляються, і тонкостінних елементів, вимоги до точності, мікрорельєфу і чистоти поверхонь, вимоги до якості зачищення і округлення кромки, масу деталей і їхню площу поверхонь.

Щоб забезпечити оптимальні режими праці устаткування (необхідну енергію) при термоімпульсному обробленні, необхідно враховувати: розміри камери згоряння, хімічний склад, масу, точність дозування горючої суміші, обсяг і площу поверхні пристосування, площу поверхні камери згоряння, щільність завантаження камери, швидкодію системи випуску відпрацьованих газів, чистоту поверхонь елементів камери згоряння, характеристику системи запалювання.

Якщо розглядати перераховані фактори (більше двадцяти) в єдиній системі, то очевидно, що отримання результатів оптимізації дослідним шляхом дуже проблематичне навіть у масовому виробництві.

Розроблена теоретична модель термоімпульсного процесу зачищення деталей з достатньою для практичного застосування точністю дозволяє вести численні експерименти з визначення раціональних параметрів оброблення. При цьому враховуються температурні поля теплонапружених елементів деталі.

Теоретична модель процесу, описана формулою (3.5), дозволяє досліджувати і визначати вплив теплофізичних властивостей матеріалів, потужності джерела тепла, характеру підведення тепла, товщини задирок і елементів деталі на характер нагрівання [18]:

$$T_{(x,y,\tau)} = \frac{a}{h\lambda} \frac{W_{y0} \cdot V_{p.k.} P_{cm} T_0}{F_{\Sigma} \tau \cdot T_{cm} P k_3} \left[\frac{m}{2} \left[\operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right] \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n e^{-\frac{a\tau n^2}{h^2}} \cos \frac{n\pi y}{h} \right] + \right. \quad (3.5)$$

$$\left. + \frac{p}{\ell} \left[\frac{1}{2} \int_0^{\tau} \operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} dt + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cos \frac{n\pi y}{h} \int_0^{\tau} \exp \left[-\frac{a\tau n^2}{h^2} \right] \left[\operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right] dt \right]$$

де $W_{\text{пит}}$ – питома теплота згорання газової суміші;
 $V_{\text{см}}$ – об'єм суміші;
 F_{Σ} – сумарна площа тепловідвідних поверхонь;
 T – час дії джерела тепла;
 m – частина тепла від імпульсного джерела;
 p – частина тепла від джерела постійної потужності;
 a – температуропровідність, $a = \lambda / \rho C$ ($\text{м}^2/\text{с}$);
 λ – теплопровідність;
 C – теплоємність;
 ρ – щільність матеріалу;
 ℓ – ділянка підведення тепла;
 n – кількість членів ряду;
 x, y – осі координат.

У той же час об'єм горючої суміші залежить від об'єму робочої камери ($V_{\text{р.к}}$), її завантаження деталями (k_3), тиску ($P_{\text{см}}$) і температури ($T_{\text{см}}$) газової суміші і описується залежністю

$$V_{\text{см}} = V_{\text{р.к.}} k_3 P_{\text{см}} T_0 / T_{\text{см}} P_0. \quad (3.6)$$

Потужність джерела тепла регулюється тиском горючої суміші і залежить від обсягу робочої камери, її завантаження, питомої теплоти згорання газової суміші, температури газової суміші, сумарної площі тепловідвідних поверхонь. За інших подібних умов оброблення зменшення часу оброблення веде до збільшення потужності джерела тепла, тобто тиску горючої суміші. Тільки оптимальний час дозволяє організувати саморегульований процес, який здійснюється шляхом поєднання оптимального (потрібного) часу оброблення з часом роботи устаткування (продуктів згорання). Інтенсивне підведення тепла до деталей відбувається при дії ударних хвиль і випусканні продуктів згорання з робочої камери. Оскільки при загасанні ударних хвиль теплообмін між газом і деталями різко зменшується (на два-три порядки), то процес очищення плавленням автоматично припиняється.

Визначення режимів термоімпульсної обробки деталей є основним етапом при розробленні технології, але висока якість очищення забезпе-

чує комплекс заходів. До цього комплексу входять: підготовка деталей до термоімпульсного очищення, яка полягає в очищенні поверхонь від органічних і мінеральних забруднень, контроль за їх шорсткістю, а також у митті і сушінні після очищення.

При очищенні деталей для агрегатів літальних апаратів вимоги до чистоти поверхонь, збереження тонких елементів, запобігання відкольних руйнувань при наявності різностінності забезпечуються одними і тими ж прийомами. Оптимальні режими повинні забезпечувати високу якість очищення і збереження вихідного стану структури матеріалу деталей.

Важливим етапом підготовки обладнання до термоімпульсного очищення є визначення вимог до пристосувань. Необхідно, щоб матеріал пристосувань не був джерелом забруднень деталей. Пристосування має захищати деталі від забоїн, впливати на організацію технологічного процесу, забезпечувати прийнятне завантаження робочої камери.

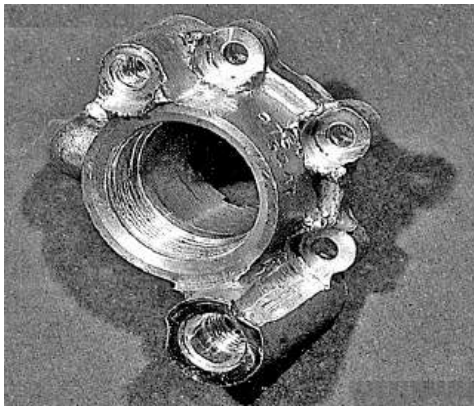
На рисунках 3.29 – 3.33 показано типові деталі агрегатів літальних апаратів після механічної обробки сформованих деталей з пластмаси і гуми в прес-формах і подальшого термоімпульсного очищення.

Використання аналітичного методу дозволило встановити закономірності змінення температурних полів елементів деталі при варіюванні факторами. Вихідні параметри, отримані для деталі, є вихідними для розрахунків процесів згоряння і налаштування обладнання.

Таким чином, обидві групи факторів утворюють технологічну систему термоімпульсної обробки і комплексно подібні до процесу, найбільш наближеного до натурального експерименту.



Рисунок 3.29 – Колеса турбіни з жароміцного сплаву до і після термоімпульсної обробки



а

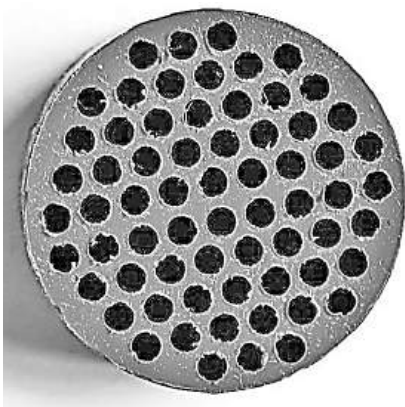


б

Рисунок 3.30 – Корпус зі сплаву АЛ 9:
а - до термоімпульсної обробки округлення кромки; *б* - після термоімпульсної обробки округлення кромки



Рисунок 3.31 – Корпуси детонаторів зі сплаву АЛ9. Округлення кромки на перетині отвору з різальною поверхнею



а



б

Рисунок 3.32 – Типові деталі з гуми до і після зачищення

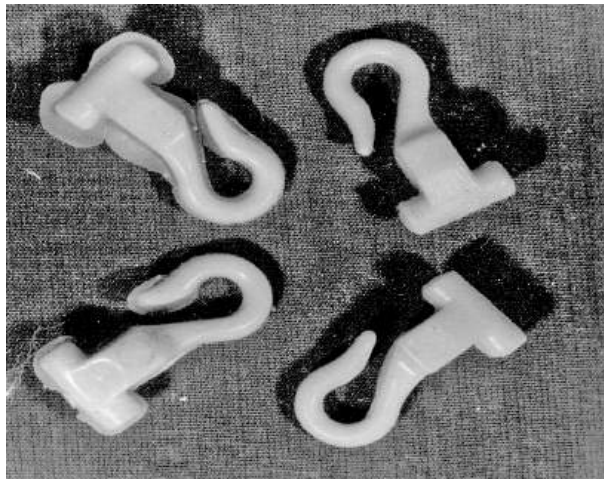


Рисунок 3.33 – Деталі з поліетилену до і після зачищення

Вкрай важливо те, що знайдено аналітичне загальне рішення, що описує розглянутий фізичний процес у цілому. При використанні численних методів необхідно виконувати розрахунки для кожної сукупності параметрів, а також їх величезної кількості.

На рисунку 3.34 показано модель деталі для розрахунку усталених температур для кількості елементів різної товщини. Отримані залежності змінення сталих температур від товщини пластин (див. рисунок 3.31). Такі залежності розраховуються для кожного матеріалу. Для порівняння наведено графіки температури для алюмінієвого сплаву АЛ9, сталей 30Х13 і 12Х18Н10Т, причому потужність теплового джерела взято однаковою. З графіків випливає, що найбільш енергоємним матеріалом є сталь 30Х13, оскільки при інших рівнозначних умовах встановилася температура найнижча.

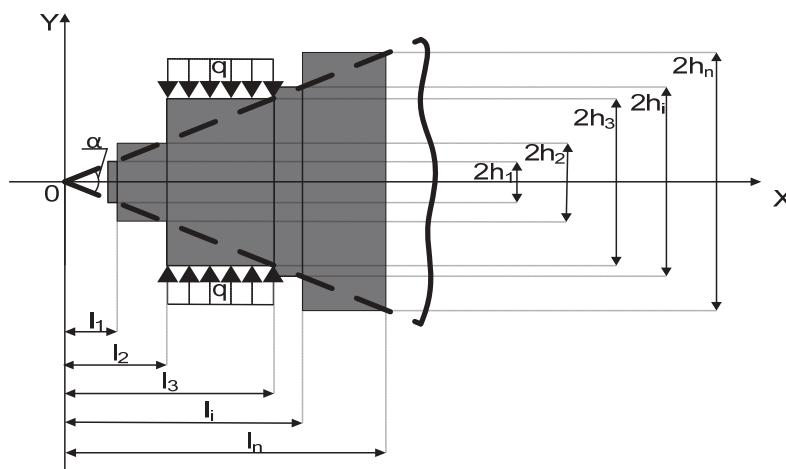


Рисунок 3.34 – Фізична модель елементів деталі,
 h_1, h_2, \dots, h_n – товщина пластин

Змінення температури елементів деталі знаходиться в обернено пропорційній залежності від їх товщини, тобто збільшення товщини в 10 разів приводить до зменшення температури елемента в 10 разів. Температура елемента деталі залежить лінійно від потужності джерела тепла, тому графічні залежності, показано на рисунку 3.35, є універсальними при визначенні потужності джерела для зазначених матеріалів.

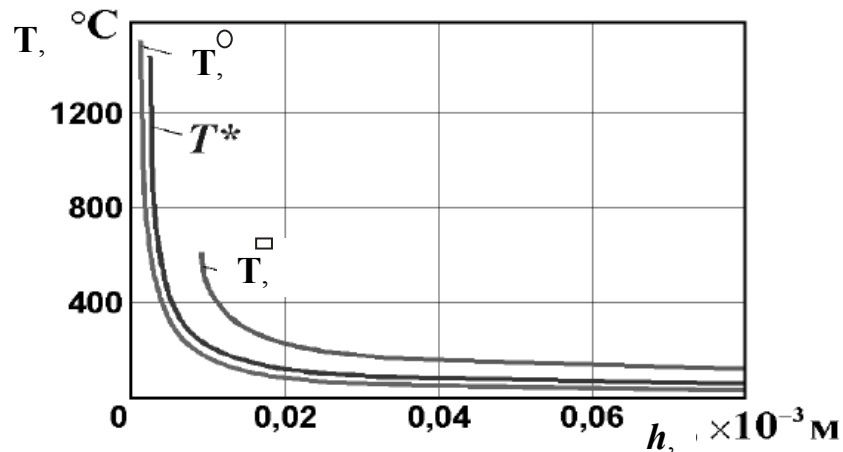


Рисунок 3.35 – Змінення температури елементів деталі залежно від їх товщини при оптимальному часі оброблення
 T^{\square} - АЛ 9, T° -30X13, T^* -12X18H9T

Порівняння розрахункових витрат енергії на оброблення при оптимальних режимах виявили такі фактори: потужність джерела тепла при обробленні задирок однакових розмірів зі сталі 30X13 повинна бути більша, ніж зі сталі 12X18H10T у 1,2 раза, що уточнює усталені уявлення про тенденції зростання енерговитрат і відповідає фундаментальним законам теплофізики.

Дослідження показали, що потужність джерела тепла не впливає на час прогрівання задирок до сталої температури.

Отримані закономірності важливі для практичного застосування, оскільки вони є постійними для матеріалу і дозволяють оцінити можливість оброблення деталі незалежно від форми і її геометричних розмірів і задирок, по товщині задирок і теплонапружених елементів деталі.

Дослідження температурного поля задирок до оплавлення – це перша фаза процесу і необхідно розглянути наступний етап змінення агрегатного стану матеріалу (плавлення). Цей етап відбувається при постійній температурі, оскільки тепло витрачається на руйнування кристалічної решітки металу. Слід зазначити, що для процесу зачищення задирок досить знайти наближені значення величини витрат енергії на плавлення задирок, але які гарантували б зачищення і збереження тонкостінних елементів. У цьому випадку досить оцінити частку тепла, що витрачається на змінення

агрегатного стану матеріалу. Відомо, що температура і теплота плавлення матеріалів зменшуються зі збільшенням частки домішок або легувальних елементів у сплаві порівняно з чистими матеріалами (основою сплаву) [105]. Іншими словами, енергетичні витрати на плавлення чистих матеріалів є граничними або максимальними для сплавів, створених на основі цих металів. У таблиці 3.2 наведено приклади теплофізичних властивостей, відносної енергоємності і частки тепла в загальному балансі енерговитрат, що йде на плавлення найбільш поширених основ для сплавів, які застосовуються в агрегатобудуванні.

Таблиця 3.2 – Порівняння витрат тепла на плавлення найбільш вживаних основ металів для сплавів

№ п/п	Матеріал	Тепл, С	C, кДж/кг, град	P, кг/дм	Q*, відносне	Q, %
1	Цинк	420	0,384	7,13	1,07	35,0
2	Магній	650	1,060	1,70	1,00	40,1
3	Алюміній	660	0,880	2,70	1,47	40,1
4	Мідь	1083	0,339	8,96	3,18	32,0
5	Титан	1680	-	4,50	3,15	30,0
6	Залізо	1535	0,427	7,87	4,10	30,0
7	Нікель	1453	0,450	8,90	4,73	32,0
8	Хром	1900	0,482	7,19	4,80	24,0
9	Сталь	1425	0,508	7,9	3,83	23,4

Частка тепла, що витрачається на змінення агрегатного стану матеріалу, не перевищує 41 % від загальних витрат енергії на видалення задирок опалювальних.

Іншою групою факторів, що характеризують деталь, є вимоги до точності, чистоти поверхонь, площі поверхні і маси, вимоги до скруглення гострих кромки. Вони визначають вимоги щодо точності регулювання систем обладнання.

Ця група факторів посилює діапазон значень параметрів процесу як за часом, так і за потужністю джерела тепла. Вимоги до чистоти поверхонь обмежують час контакту продуктів згоряння з деталями періодом охолодження до температури конденсації оксидів. Вимоги до точності і жорсткості конструкції деталі обмежують потужність теплового джерела (у разі використання детонуючої газової суміші), при цьому слід враховувати її масу і площу поверхні. Вимоги до скруглення кромки можуть створити несумісні умови оброблення з виконанням вимог щодо точності деталі. При виборі режимів необхідно враховувати наявність різностінності у деталей. Особливо важлива ця обставина, якщо матеріал деталі має високу теплопровідність. У деталей з алюмінієвих і мідних сплавів неправильно вибрані режими можуть призвести до так званих відкольних руйнувань. Чисельне моделювання нагрівання елементів деталі на межі ділянки підведення те-

пла і за її межами показують, що відкольні руйнування у таких матеріалів можливі і на пластинах, які мають теплоізолювані ділянки. Сукупність факторів, що належать до характеристики деталі, визначають область допустимих значень потужності джерела і часовий інтервал оброблення, а також визначають вимоги до конструкції пристосування.

Якщо фактори, що характеризують деталь, диктують умови оброблення, то фактори, пов'язані з джерелами тепла, визначають технологічні можливості обладнання. Оброблення деталей із заданою якістю можливе за умови відповідності характеристик обладнання вимогам технологічного процесу.

Склад горючої суміші, точність дозування і її параметри, вільний об'єм робочої камери, режим горіння суміші, площа поверхні камери і пристосування, ступінь завантаження камери визначають величину теплової енергії. Хімічний склад горючої суміші, габарити камери, швидкодія системи випуску відпрацьованих газів визначають згідно з керуванням параметром часу.

Як зазначалося раніше, в умовах виробництва агрегатів літальних апаратів доцільно використовувати імпульсне джерело теплової енергії, що відповідає періоду згасання ударних хвиль у робочій камері. Відомо, що швидкість детонації в газах – це величина постійна і залежить від хімічного складу горючої суміші, а період загасання наступних ударних хвиль залежить від довжини робочої камери. Експериментальні дані з дослідження характеристик джерела тепла добре узгоджуються з результатами досліджень.

Щоб забезпечити необхідну щільність теплового потоку, регулюється тиск горючої газової суміші. Максимальний тиск горючої суміші обмежується міцністю конструкції обладнання. Тому ступінь завантаження обсягу камери, площа тепловідвідних поверхонь і точність їх визначення, точність дозування горючої суміші є важливими параметрами, що впливають на якість оброблення.

Режим горіння горючої суміші вибирається при проектуванні обладнання. Його змінення в більшості випадків пов'язано з конструктивними змінами системи запалювання і організацією сумішоутворення.

Час оброблення залежить від розмірів робочої камери, а також від хімічного складу горючої суміші. Швидкодію системи випуску відпрацьованих газів забезпечує режим теплового впливу на деталь: імпульсний, змішаний або з переважанням джерела тепла квазіпостійної потужності (режим роботи установок фірми Bosh). Режим випуску продуктів згоряння має суттєвий вплив на забруднення поверхонь оксидами, які конденсуються з газового середовища.

1. *Механізм зняття задирок.* Задирки миттєво випалюються або плавляться тепловою хвилею при температурі понад 3000 °C у герметизованій камері, наповненій сумішшю газів, яка запалюється іскрою.

2. *Використовувані гази.* Окислювач – кисень. Горючі гази – природний газ, ацетилен, пропан, бутан.

3. *Типові матеріали заготовок.* Чорні та кольорові метали і їх сплави, термопласти, гума (див. рисунок 3.32).

4. *Вимоги до геометрії виробів.* Ліквідні видаляються в усіх доступних для газової суміші місцях деталі. В першу чергу будуть оплавлятися перетини заготовок з великим відношенням площі поверхні до маси. Тому найтонші перетини деталей повинні бути в 5 – 10 разів товщі за товщину найбільших задирок, які мають бути видалені.

5. *Товщина задирок, що знімаються.* Видаляються внутрішні і зовнішні задирки і специфічні забруднювальні речовини. Виходять радіуси заокруглення від 0,001 до 0,5 мм на сталевих деталях і від 0,01 до 0,2 мм – на алюмінієвих.

6. *Вплив на поверхню деталей.* Внутрішні і зовнішні поверхні покриваються непов'язаним шаром оксиду, який може бути видалений водними розчинами ультразвукової мийки.

7. *Типове застосування.* Цинкові карбюратори, алюмінієві колектори, латунні клапани і сталеві шестерні, гідропанелі, складнопрофільні корпусні деталі гідропаливних агрегатів та ін.

8. *Необхідний час циклу.* Час циклу в середньому - 30 секунд. Технологічний час оброблення вимірюється частками секунди. Основний час займає підготовка циклу: завантаження-вивантаження деталей, наповнення робочої камери горючою сумішшю і випуск відпрацьованих газів, герметизація робочої камери. З партії дрібних деталей в кількості ~ 500 штук задирки можуть бути зняті менше, ніж за хвилину. Процес зазвичай не автоматизовано.

Розроблений метод дозволяє виконувати недоступні для термохімічного методу операції, наприклад, округлення кромки на деталях з алюмінієвих сплавів (див. рисунки 3.30, 3.31).

Успішне застосування термоімпульсного методу в умовах виробництва гідропаливних агрегатів літальних апаратів можливе лише при наявності методичних матеріалів, що дозволяють прогнозувати необхідну якість зачищення.

4 ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Необхідної якості виробів вітчизняного машинобудування домагаються, головним чином, багатостадійним доведенням технологічних процесів за результатами виготовлення, випробувань, експлуатації виробів. При такому підході поєднання характеристик елементів технологія системи носить випадковий характер. Оскільки негативні впливи технологічної

спадковості виявляються в експлуатації поза виробничим процесом, то це призводить до непрогнозованих термінів освоєння виробництва нових виробів, значного подорожчання робіт і в результаті – до втрати конкурентної спроможності. Одним з найбільш важливих елементів технологічної системи, що впливає на якість і надійність літальних апаратів, є промислова чистота прецизійних виробів і комплекс заходів з її забезпечення.

Необхідність забезпечення промислової чистоти прецизійних деталей пояснюється функціональними причинами, запобіганням відмов гідравлічних систем, пов'язаних із заклинюванням і регулюванням пристроїв. Частинки задирок або малих інструментів, потрапляючи в гідравлічну або пневматичну систему, переносяться робочим середовищем по всій системі, порушують роботу найбільш чутливих елементів: манжетних ущільнень, золотикових, плунжерних пар, підшипників, зубчастих передач, деталей замків, клапанів тощо.

Задирки спричиняють завихрення в потоці газу або рідини, а також погіршують зчеплення з лакофарбовими та іншими покриттями.

Аерокосмічна промисловість - одна з найбільш істотних областей, в якій питанням надійності і ресурсу вироблених виробів приділяється величезна увага, проводиться безліч досліджень, спрямованих на досягнення зниження рівня відмов і покращення надійності. Одним з напрямків є контроль досягнення і підвищення чистоти поверхонь деталей і, відповідно, систем у цілому.

Отже, висока якість очищення поверхонь і кромek прецизійних виробів від ліквідів у виробництві агрегатів аерокосмічної техніки необхідна для забезпечення довговічності і безвідмовності виробів при експлуатації. Для досягнення функціонально необхідної чистоти виробів, крім джерел забруднення, слід знати особливості експлуатації і виробництва.

4.1 Аналіз номенклатури деталей і матеріалів агрегатів

Для агрегатного виробництва аерокосмічної техніки характерні: висока точність виготовлення деталей; багатомітенклатурність деталей і матеріалів; високі вимоги до надійності виробів; мікронні зазори в рухомих золотникових і плунжерних парах; обмежене застосування абразивної обробки через шаржування оброблюваних поверхонь; постійне оновлення виробів; дрібносерійне виробництво.

Основні системи літальних апаратів (ЛА) та їх рухомих установок (паливна, автоматизованого керування двигуном і ЛА, основна і допоміжна гідросистеми ЛА, енергопостачання та життєзабезпечення) оснащені сучасними авіаційними агрегатами. На рисунку 4.1 показано деякі агрегати, що виготовляє ДП ХМЗ «ФЕД».



Рисунок 4.1 – Авіаційні агрегати

Забезпечення необхідної якості агрегатів ЛА досягається широким застосуванням нових матеріалів, у тому числі важкооброблюваних сплавів, і підвищенням точності виготовлення деталей, посиленням допусків на основні функціональні, розмірні, гідравлічні, кінематичні та інші параметри деталей і складальних одиниць. Одним з ефективних шляхів удосконалення авіаційної техніки є постійна модифікація агрегатів і ускладнення їх функцій. Часта змінюваність виробів і безперервна їх модифікація в процесі виробництва призводять до зниження серійності. Тому зараз агрегатобудування є серійним і дрібносерійним багатомоделюваним виробництвом складних, безперервно оновлюваних пристроїв і систем.

Для деталей агрегатів характерні:

- глибокі отвори малих діаметрів (0,8 ... 1,5 мм);
- пересічні канали з розточками і кишнями;
- допуски на взаємне розташування осей отворів у межах $\pm 0,01 \dots 0,1$ мм;
- різьблення щодо отворів не більше 0,05 мм;
- поля допусків на розміри охоплюють поверхні з 6 по 11-й квалітети;
- поля допусків на розміри охоплених поверхонь з 5 по 7-й квалітети;
- відхилення від геометричної форми прецизійних пар – від 1 до 3 мкм;
- допуск на зазор у межах від 8 до 16 мкм; допуск на відстань між відсічними крайками від 5 до 15 мкм;
- шорсткість деталей плунжерних і золотникових пар – від 3,2 до 0,8 мкм до 0,04 мкм та ін.;
- використання високолегованих сплавів і сталей EI347Ш, EP176, EI415, 38X2MЮA, 95X18 та ін., алюмінієвих сплавів АЛ9, АК4 та ін., що мають різну твердість, міцність.

Для агрегатного виробництва притаманні такі характерні умови:

- постійне оновлення виробів;
- багатомономенклатурність деталей і матеріалів;
- дрібносерійне виробництво;
- висока точність виготовлення деталей;
- наявність тонкостінних елементів дрібного різьблення, каналів малого діаметра, глухих отворів, каналів довжиною більше десяти діаметрів і т. п.;
- складна конфігурація внутрішніх і зовнішніх поверхонь деталей при відносно малій жорсткості;
- високі вимоги до надійності виробів, яку забезпечує в тому числі якість очищення;
- мікронні зазори в рухомих золотникових і плунжерних парах;
- обмежене застосування абразивного оброблення через шаржування оброблюваних поверхонь.

Вирішення питання надійного очищення деталей в агрегатобудуванні пов'язано з вирішенням комплексу організаційних і технічних завдань. Є два підходи до досягнення поставленої мети:

1) підбір методів й обладнання щодо сформованих умов виробництва для очищення 100 % деталей автономних вузлів і агрегатів;

2) розроблення технологічної системи на базі існуючого парку обладнання і серійних технологій (2 – 4 методи очищення), що дозволяє оптимізувати якість продукції, яка випускається при мінімальних витратах і конкурентоспроможності виробів.



Рисунок 4.2 – Деталі авіаційних агрегатів

Перший варіант недоцільно розглядати через проблематичність підбору методів і обладнання для дрібних серій деталей і велике номенклатурне видалення ліквідів і організації роботи.

При розробленні технологічної системи з урахуванням конкретних умов на підприємстві можливість забезпечення стабільної якості очищення

поверхонь і кромок досягається за рахунок раціональних режимів механічної обробки, що дозволяє прогнозувати розміри ліквідів для гарантованого їх видалення. На рисунку 4.2 показано типові деталі агрегатного виробництва, виготовлені з різних високоміцних сплавів на основі заліза, титану, алюмінію, магнію. Фізичні властивості цих матеріалів (пластичність, твердість, міцність, теплопровідність і т. п.) змінюються в широкому діапазоні значень, що ускладнює вибір режимів механічної обробки з метою оптимізації розмірів ліквідів.

На рисунку 4.3 показано корпуси зі складнопрофільними поверхнями, при обробленні яких використовуються різні види інструментів: різці, фрези, свердла, розгортки та ін.

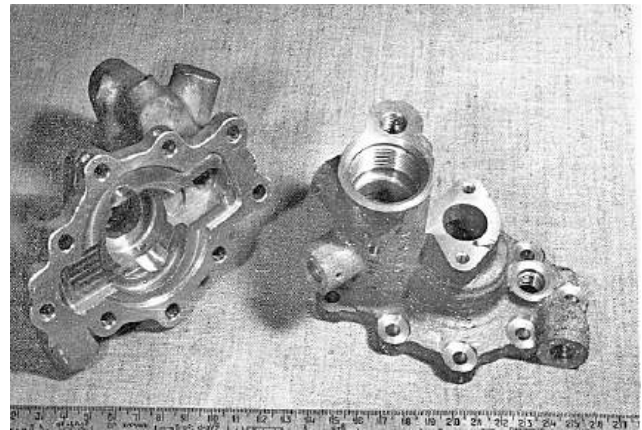
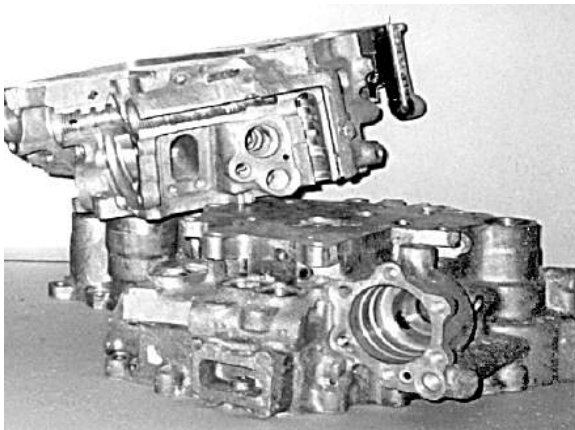


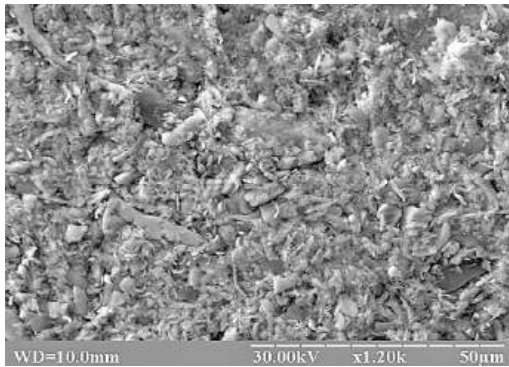
Рисунок 4.3 – Корпусні деталі агрегатів

Незважаючи на різні умови роботи зазначених інструментів, на формування ліквідів впливають величина радіуса різальних кромок, швидкість різання і подача. Тому необхідно формувати комплекти різальних інструментів з урахуванням особливостей утворення задирок при обробленні каналів, поверхонь з різною шорсткістю шляхом забезпечення до заданої якості і геометричних розмірів їх різальних кромок.

4.2 Дослідження твердих частинок у порожнинах агрегатів

Статистичні дані вибіркового контрольних перевірок промислової чистоти внутрішніх порожнин агрегатів після існуючого очищення на декількох підприємствах за кілька років у середньому засвідчили такі результати:

На рисунку 4.4 наведено типові тверді частинки агрегата, знятого зі стендових випробувань через заклинювання золотникової пари.



Інформація		
Напруга (кВ): 20.00		
Сума %: 100.00		
Елемент	Інт.	С %
Fe	K	22072
		96.52
Si	K	2753
		3.43
Cr	K	91
		0.04

Інформація		
Напруга (кВ): 20.00		
Сума %: 100.00		
Елемент	Інт.	С %
Al	K	24463
		86.85
Cu	K	784
		5.24
Si	K	1102
		4.69
Fe	K	206
		1.54
Ca	K	231
		0.94
Zn	K	121
		0.75

Інформація		
Напруга (кВ): 20.00		
Сума %: 100.00		
Елемент	Інт.	С %
Cd	L	3856
		76.95
Al	K	286
		9.54
Fe	K	233
		7.54
Si	K	389
		4.38
Cu	K	60
		1.59

Інформація		
Напруга (кВ): 20.00		
Сума %: 100.00		
Елемент	Інт.	С %
Mg	K	3517
		45.43
Se	L	1524
		39.84
Ca	K	367
		3.44
Si	K	297
		3.13
Fe	K	145
		2.43
Cr	K	276
		2.31
Cu	K	132
		1.85
K	K	158
		1.57

Частинка 700 нм

Частинка 3 мкм

Частинка 6 мкм

Рисунок 4.4 – Загальний вигляд масиву частинок і складу хімічних елементів

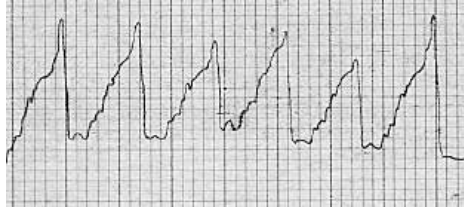
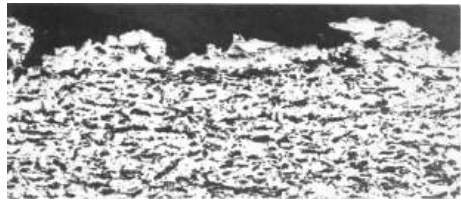
Частинок:

- від 50 до 100 мкм \approx 4 – 5 шт.;
- від 25 до 50 мкм \approx 10 – 29 шт.;
- від 10 до 25 мкм \approx 17 – 37 шт.;
- від 5 до 10 мкм \approx 80 – 150 шт.;
- від 1 до 2 мкм \approx 3500 – 40 000 шт.;
- від 0,5 до 1 мкм \approx 5104 – 105 шт.

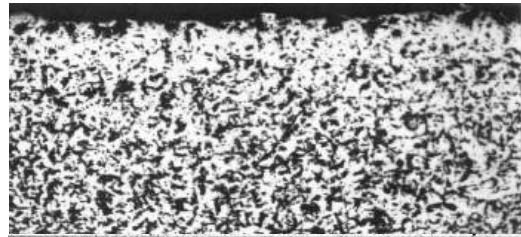
Аналіз твердих частинок, виявлених у порожнинах і на поверхнях деталей, знятих з експлуатації авіаційних агрегатів, дозволив установити домінуючі ліквідні продукти зносу самих деталей і частки різальних інструментів.

При чому кількість продуктів зносу деталей зі зменшенням їх розмірів збільшується за гіперболічною залежністю.

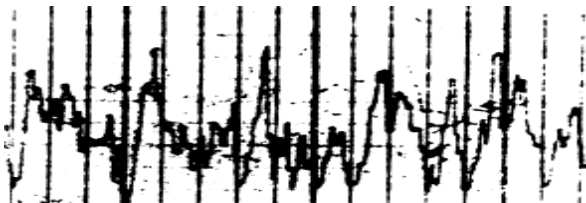
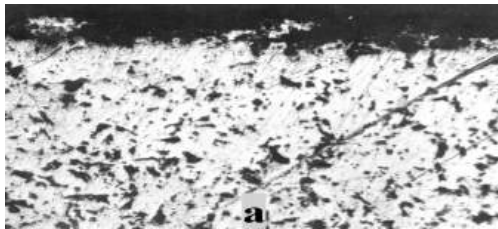
При вивченні технологічних забруднень на поверхнях деталей було встановлено, що всі види механічної обробки, коли використовують різальний інструмент, утворюють на поверхнях і кромках, крім задирок (200 ... 50 мкм), ще мікрочастинки і мікрозадири (50 мкм і менше), що мають велику проникну здатність через свої розміри. Розкид розмірів металевих частинок – від сотих часток мікрона до ста мікронів.



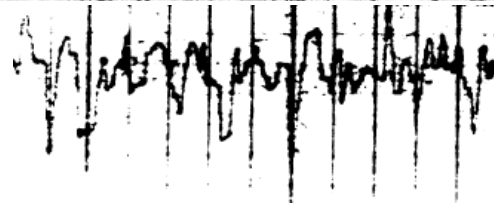
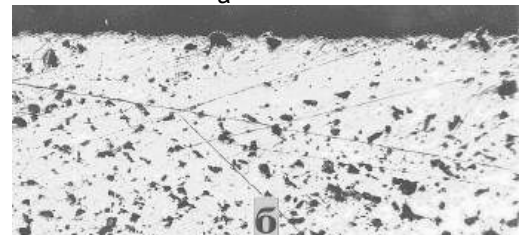
а $R_a=14$ мкм



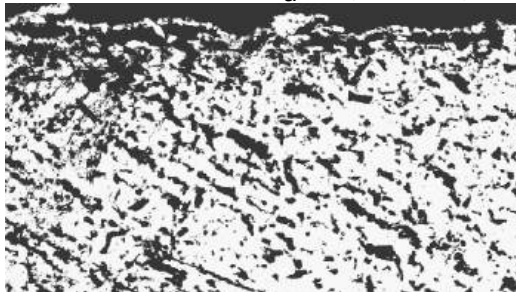
б $R_a=10$ мкм



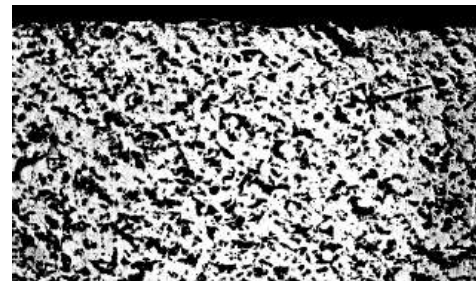
в Початковий $R_a= 1,78...1,94$



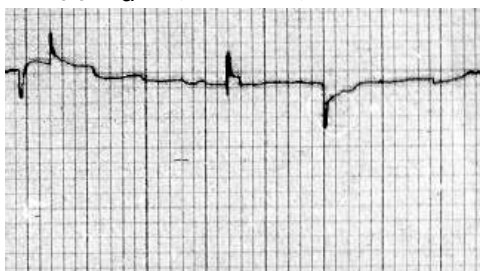
г Зносостійкий $R_a= 1,32...1,17$



д $R_a=0,04... 0,05$ мкм



е $R_a=0,1... 0,07$ мкм



к $R_a=0,04... 0,05$ мкм



л $R_a=0,1...0,07$ мкм

Рисунок 4.5 – Поверхні зразків у початковому стані і після термоімпульсного очищення:

- а – $R_a=14$ мкм; б – $R_a=10$ мкм; в – початковий $R_a= 1,78...1,94$;
- г – Зносостійкий $R_a= 1,32...1,17$; д – $R_a=0,04... 0,05$ мкм;
- е – $R_a=0,1... 0,07$ мкм; к – $R_a=0,04... 0,05$ мкм; л – $R_a=0,1...0,07$ мкм

Найбільш масивні частинки (понад 95 %) мають величину менше 10 мкм, а з них більше 98 % частинок мають розміри менше 5 мкм [9]. Установлено також, що масове забруднення робочих рідин мікрочастинками відбувається на початку експлуатації. При цьому відомо, що шорсткість поверхонь, які труться, змінюється внаслідок підробітки на початку періоду експлуатації машин і не відповідає шорсткості, заданої в кресленнях.

За статистичними даними до 50 % усіх відмов гідравлічних систем літаків, пов'язаних з виходом з ладу насосів, заклинюванням розподільних і регулюючих пристроїв, підвищенням зносом відповідальних деталей відбувається через технологічні забруднення, в тому числі мікрочастинками. Чутливість авіаційної техніки навіть до частинок мікронної величини робить необхідним ретельне відслідковування усього технологічного ланцюжка від кромek різальних інструментів, фізичних властивостей оброблюваних матеріалів, режимів різання до технологій видалення ліквідів зі 100 % деталей – входять в автономні вузли, агрегати, системи. На рисунку 4.5 показано результати досліджень термоімпульсного очищення поверхонь зразків деталей, оброблених на токарному і шліфувальному верстатах від частинок і швидкозношувальних мікронерівностей. Комплексне очищення деталей від мікро- і макроліквідів ускладнено тим, що більшість методів технічно не можуть поєднати ці операції. Оптимізація процесів, що належать до технологічної системи, можлива за певних умов їх взаємного впливу і встановлених відповідних закономірностей, яким порядковуються ці впливи.

Оптимальна технологічна система характеризується сумарними властивостями, які прогнозовано і стійко забезпечують необхідну якість виробів з максимальним економічним ефектом. Причому властивостей, притаманних системі в цілому, не мають її окремі елементи, що дозволяє виділити її у вигляді цілісного об'єкта.

Технологічна система не зводиться до простої сукупності складових елементів. Розглядаючи ці елементи окремо, без урахування зв'язків між ними, неможливо об'єктивно оцінити її властивості в цілому, а отже, не можна оптимізувати якість продукції і витрати у виробництві і експлуатації.

Дослідження причин виходу з ладу гідравлічних агрегатів дозволило виявити джерела технологічних забруднень, що призвели до відмов техніки. Вдалося встановити взаємний вплив елементів технологічної системи на продукування твердих частинок у процесі виготовлення і експлуатації агрегатів.

Це потребує вирішення цілого комплексу технічних і організаційних завдань: починаючи від інструментальних систем, пристосувань, верстатів, технологій, кваліфікації інженерних і робочих кадрів і закінчуючи умовами транспортування, зберігання деталей і готових виробів, а також додержанням промислової чистоти при складанні.

Випуск продукції машинобудування, тим паче авіакосмічної техніки, з потрібною якістю і мінімальною собівартістю при оптимальному складі елементів технологічної системи й урахуванням особливостей, як технологічного обладнання, так і виробів. Відповідно, типові профілограми зразків до і після термоімпульсного очищення. Наприклад, при виготовленні складнопрофільних корпусних деталей на оброблювальних центрах необхідно використовувати різнотипні лезові інструменти із заданою шорсткістю різальних кромки і їх радіусів, які здійснюють близькі за розмірами ліквіди.

5 ВІДНОСНА ВАРТІСТЬ ОБЛАДНАННЯ. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СОБІВАРТОСТІ ОЧИЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

Конкурентна здатність продукції машинобудування є багатофакторною проблемою, що залежить від комплексу системних організаційних і технологічних заходів (оптимального вирішення технологічних задач у кожному конкретному випадку). Тому прийняття технологічних рішень має базуватися на достовірних і науково-обґрунтованих даних. Для комплексного оціювання можливостей обробно-очисних технологій використовуємо найбільш загальний критерій – економічний. Необхідними умовами прийняття вивірених рішень є:

- 1) знання джерел технологічних забруднень;
- 2) повузлова систематизація і класифікація, що враховують конструктивні та фізичні властивості матеріалів.

Розроблення класифікатора деталей дозволить визначити мінімальний набір обладнання і мінімізувати вартість оброблення. Класифікація деталей агрегатів дозволить розробити групові технологічні процеси для забезпечення промислової чистоти виробів. У агрегатному виробництві згідно з функціональними і конструктивними відмінностями можна визначити шість груп деталей:

- корпусні зі складними зовнішніми і внутрішніми поверхнями;
- золотникові і плунжерні пари, клапани;
- шестерні, вали, осі, циліндри, поршні;
- кріплення, пружини, заглушки тощо;
- кронштейни, кришки, шпонки;
- різальний інструмент для механічного оброблення.

З літературних джерел і рекламних проспектів зібрано інформацію про ціни на деяке обладнання для видалення задирок. Ці дані дозволяють орієнтуватися на ринку обладнання щодо обробнозачисних операцій в західних країнах. Багато технологій фірми продають у комплексі з обладнанням технології щодо номенклатури деталей споживача. Ціни в такому випадку значно вище і не розголошуються. У таблиці 5.1 наведено відносну вартість найбільш часто використовуваного обладнання для видалення

задирок у авіаційній промисловості. За одиницю взято середню вартість (у тисячах доларів) інструментів для ручного видалення задирок.

Формули для розрахунку вартості видалення задирок з однієї деталі:

1. Вібраційне (галтувальне) видалення задирок:

$$C = [C_d + C_m + WC_p + C_b + C_e + C_c + C_w] / N + [C_l(1 + D_o)(K_1 + K_2)] / N.$$

2. Видалення задирок ТЕМ:

$$C = [C_d + C_m + C_l(1 + D_o) + WC_p t + C_a] / N + C_g / n + C_t / N_p;$$

$$C = [C_d + C_m + C_l(1 + D_o) + WC_p t + C_a] / N + C_t / N_{p1} - \text{видалення «бісеру»}.$$

3. Ручне видалення задирок:

$$C = [C_l(1 + D_o) + C_a] / N + C / n + C_t / N_p.$$

4. Механічне видалення задирок:

$$C = [C_d + C_m + C_l(1 + D_o) + WC_p + C_a] / N + C_t / N_p.$$

Таблиця 5.1 – Відносна вартість обладнання для зачищення

Обладнання	Відносна вартість	Методи
Набори інструментів для ручного видалення задирок	1 – 2	Ручний (механічний)
Установки термоенергетичні	100 – 420	Фізичний
Установки термоімпульсні	40 – 200	Фізичний
Установки віброцентрові	12 – 750	Відцентрові
Установки вібраційні, галтувальні, лоткові вібратори	7 – 45	Галтувальне полірування
Установки ультразвукові	30 – 200	Фізичний
Установки шліфувальні	2 – 15	Механічні
Установки електрохімічні	2 – 10	Електрохімічні

5. Хімічне видалення задирок:

$$C = [C_d + C_m + C_l(1 + D_o) + WC_p + C_a] / N + C_s / N_p.$$

6. Електрополірувальне видалення задирок:

$$C = C_d + C_m + C_l(1 + D_o) + WC_p + C_a] / N + C_t / N_p + C_s / N_{p1},$$

де C_d – амортизаційні відрахування в розрахунку на одну годину;
 C_m – витрати на технічне обслуговування в розрахунку на одну годину;
 C_l – вартість роботи за годину;
 C_p – вартість енерговитрат (долар/кВт*год);

C_a – вартість промивання після видалення задирок;
 C_e – вартість галтувальних способів у розрахунку на одну годину;
 C_c – вартість складу (суміші) у розрахунку на одну годину;
 C_w – вартість води у розрахунку на одну годину;
 C_g – вартість газу, використовуваного за один цикл;
 C_t – загальні витрати на інструмент;
 C_s – загальні витрати на розчин;
 D_o – коефіцієнт корисної дії;
 N – кількість процесів оброблення в годину;
 n – кількість деталей, оброблюваних за один цикл;
 t – час циклу (година);
 W – необхідна енергія;
 N_p – загальна кількість деталей;
 N_{p1} – кількість деталей, оброблюваних за цикл при видаленні «бісеру»;
 C – вартість видалення задирок з однієї деталі.

У роботах [6–8] наведено розрахунки вартості видалення задирок з однієї деталі різними методами при великосерійному та серійному виробництвах. Використовану інформацію у зазначених джерелах для порівняння з вартістю оброблення термоімпульсним методом, розробленим в лабораторії імпульсних джерел енергії Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» зведено у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Вартість видалення задирок з однієї деталі (у доларах)

Величини вартості	Вібраційне галтувальне полірування	ТЕМ	Ручне доведення	Хімічне видалення задирок	Термоімпульсна обробка
C_d	0.40	5,0	-	0.20	2,0
C_m	0.04	1.00	-	0.02	0.4
C_l	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
C_p	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
C_a	0.06	5.80	5.50	5.50	5.0
C_e	0.06	-	-	-	-
C_c	0.30	-	-	-	-
C_w	0.15	-	-	-	-
D_o	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
N	50	1500	12	400	3750
n	100	6	1	100	15

Продовження таблиці 5.2

Величини вартості	Вібраційне галтувальне полірування	ТЕМ	Ручне доведення	Хімічне видалення задирок	Термоімпульсна обробка
t	2	0.004	0.08	0.25	0.004
C _g	-	0.024	-	-	0.024
W	4	4	0	0	1,0
C _t	-	1000	1000	-	1000
N _p	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000
C _s	-	-			
C	0.106	0.02	1.210	0.052	0.0085

Технологія і обладнання, розроблені в ХАІ, дозволяють одночасно очищати від усіх ліквідів 90 % номенклатури деталей авіаційних гідротопливних агрегатів.

Устаткування для термоімпульсної обробки в два рази дешевше зарубіжних аналогів.

Витрати на видалення задирок з однієї деталі в 2,2 раза менше, ніж у зарубіжного аналога.

6 ВИБІР МЕТОДІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АГРЕГАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розглянемо коротко технологічні особливості типових методів оброблення та очищення деталей від металевих ліквідів, що забезпечують їх нормальне функціонування у відповідних виробках і не утворюють вторинних ліквідів.

Відомо, що видаленню підлягають задирки, мікрозадирки, стружка, мікрочастинки та інші ліквідні частинки величиною від мікрметра до декількох сотень мікрметрів. Причому очисні методи, в основі яких лежать процеси різання, утворюють вторинні ліквідні іншого порядку малості.

Для видалення задирок галтування оброблювану деталь розміщують в повільнообертний барабан, заповненому галтувальною абразивною сумішшю. Тривалість оброблення коливається між однією і 100 годинами на партію деталей. Невеликі сталеві деталі оброблюються за дві години при видаленні задирок товщиною до 0,075 мм і зкругленням крайок радіусом до 0,25 мм. Цей метод ефективніший лезового, абразивного, ударного, механізованого методу від 2 до 30 разів. Величина деталей обмежується розмірами галтувального барабана.

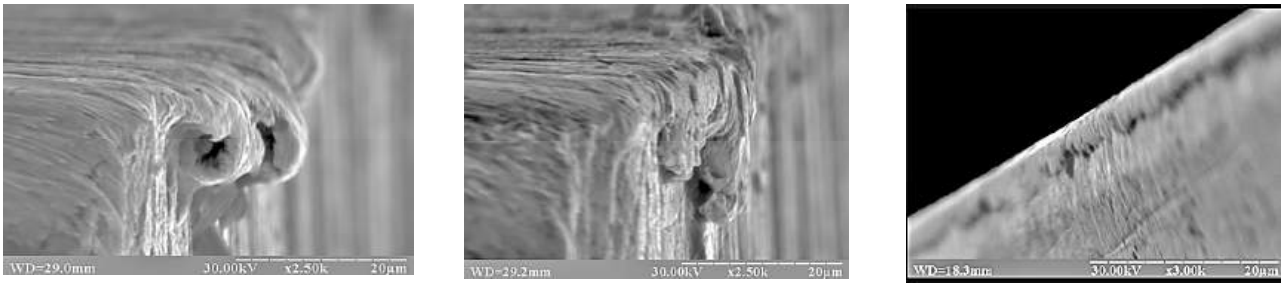


Рисунок 6.1 – Фрагменти кромок різця до та після галтування

Основою хімічних методів видалення задирок і частинок є занурення оброблюваних деталей у резервуар з хімікаліями, де за рахунок хімічної реакції відбувається зачищення. Ці методи використовують при обробленні деталей з різних металів. Товщина задирок, що видаляються, – до 0,075 мм. Тривалість оброблення партії деталей – від 15 до 20 хвилин. При обробленні знижується точність, спостерігається нерівномірне травлення металу з поверхні деталі (рисунок 6.2).

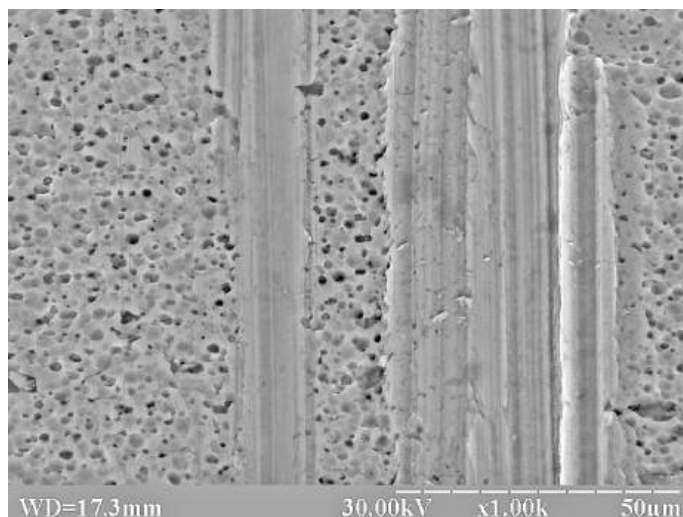


Рисунок 6.2 – Травлення елементів сплаву

Недоліком методу є змінення розмірів і форм деталей, можливі забоїни, подряпини; не обробляються задирки в глухих отворах; задирки, які мають велику довжину, можуть загинатися і завальцовуватися на деталі; шаржує поверхню деталей. На рисунку 6.1 показано приклад оброблення деталі з інструментальної сталі в галтувальному барабані.

Оброблення задирок за допомогою високошвидкісного струменя рідини проводять під тиском від 6 до 210 МПа. Використовують воду з домішкою розчинного у воді масла (від 1 до 3 %). Видаляють задирки, доступні

впливу струменя, товщиною менше 0,075 мм. Оброблюють деталі з алюмінієвих сплавів, цинку, чавуну. Продуктивність оброблення – у середньому від 200 до 500 деталей за годину. Серйозним фактором, що обмежує застосування цього методу, є низька надійність механізмів, що працюють під високим тиском оброблюють тільки відкриті поверхні.

Це – екологічно небезпечні технології з дорогою утилізацією відходів.

Електрохімічне видалення задирок відбувається в результаті їх розчинення в електроліті під дією електричного поля. Електроліт знаходиться в зазорі між задирками і електродами спеціальної форми. Найбільша ефективність забезпечується при знятті задирок товщиною менше 0,37 мм. Тривалість процесу оброблення становить від 0,5 до 15 хв. Обробляють метали і їх сплави. Метод дозволяє видаляти як зовнішні, так і внутрішні задирки і не потребує великого набору електродів, що відповідають контурам оброблюваних поверхонь. Для видалення задирок великих розмірів необхідне тривале оброблення при набагато більшій силі струму. Крім видалення задирок, відбувається місцеве зняття матеріалу деталі (до 0,25 мм) і місцеве травлення. Крім того, всупереч рекомендаціям оброблювати деталі групами не завжди вдається, тому що без настановної бази неможливо витримати оптимальні зазори (близько 0,2 мм) між електродами і оброблюваною поверхнею для кількох деталей одночасно. Устаткування (насоси, трубопроводи тощо) піддається підвищеній корозії. Важко підбирати розчин для кожного оброблюваного металу. Це екологічно небезпечні технології з дорогою утилізацією відходів. Метод рекомендується застосовувати для партії деталей не менше 5000 штук [18].

Зняття задирок під впливом ультразвуку пояснюється кавітаційно-абразивною теорією. Метод застосовують для дрібних деталей з товщиною задирок не більше 0,08 мм. Час оброблення - 10 – 15 хв. Підвищується величина шорсткості поверхні на один-два класи. Час процесу порівняно з галтуванням, за даними американських фірм, скорочується в 20 разів. До недоліків слід віднести відсутність серійного обладнання, невивченість процесів, обмежені розміри задирок, що змінюються [17].

При електроконтактних методах використовують для оброблення деталей тепло, що виділяється при протіканні струму через дотичні поверхні, що мають підвищений контактний електричний опір. Переваги методу: можливість якісного та продуктивного видалення задирок і окалини з середніх і великогабаритних деталей; можливість місцевого очищення поверхонь деталі практично будь-яких розмірів. Недоліки: невивченість і недослідженість методу; відсутність серійного обладнання; неможливість оброблення дрібних деталей; збільшення шорсткості оброблюваної поверхні; термічне змінення структури поверхневого шару; утворення вторинних, більш дрібних ліквідів [18].

З фізичних методів зараз найбільш інтенсивно вивчаються за рубежом і в Україні термохімічний і термоімпульсний методи зачищення. В основі цих методів, як уже зазначалося, лежить нагрів ліквідів і деталі різни-

ми джерелами тепла, але оскільки маса задирок незначна відносно до площі поверхні порівняно з тим же показником самої деталі, то задирки прогріваються швидше або плавляться, або згорають в середовищі окислювача. Як окислювач використовують хлор або кисень. За рубежом в останні роки набув поширення термохімічний метод, в якому як джерело тепла використовують газову суміш з надлишком кисню. Цей метод дозволяє видаляти задирки з деталей будь-якої форми, з отворів малого діаметра, на перетині каналів, тобто там, куди є доступ горючої суміші. В процесі оброблення додаткові задирки не утворюються. До переваг також слід віднести високу продуктивність, універсальність, гнучкість, можливість автоматизації процесу, стабільність результатів оброблення, широку номенклатуру оброблюваних матеріалів за рахунок змінення співвідношення компонентів горючої суміші.

Недоліком методу є відкладення конденсованих окислів на поверхнях деталей, які видаляються хімічним травленням. Метод не використовується для зачищення деталей на фінішних операціях. Імпортне обладнання відрізняється високою вартістю.

Термоімпульсний метод відрізняється від термохімічного тим, що домінуючими є теплофізичні процеси, при цьому задирки та інші технологічні забруднення видаляються плавленням з подальшим скиданням продуктів згоряння з робочої камери до початку їх конденсації на поверхнях оброблюваних деталей.

До переваг методу слід віднести гнучкість, високу продуктивність, поєднання операцій очищення і оброблення поверхонь і кромки, можливість обробляти високоточні деталі, включаючи деталі паливної апаратури.

Недоліком є обмеження розмірів оброблюваних деталей розмірами робочої камери [17].

Розглянемо вибір обробно-очисних методів для агрегатного виробництва авіаційної промисловості. Виходячи з вимог, що ставляться до деталей агрегатного виробництва, задирки на них можуть видалятися лезовим, слюсарним, хімічним, електрохімічним методами без використання абразиву, а також фізичними методами без застосування абразиву. Застосування методів, основаних на використанні абразивного середовища, принципово можливе, але потребує подальшого трудомісткого очищення від абразивних частинок. Виробництво агрегатів є серійним і дрібносерійним, а також багатомоделюваним, причому безперервно оновлюється. Використання електрохімічного методу стримується великими витратами часу на переоснащення виробництва, крім того, немінучі значні матеріальні витрати, оскільки електродні інструменти застосовні тільки для конкретних розмірів (змінення довжини або діаметра отвору потребує виготовлення відповідного електрода).

Виходячи з вимог до точності деталей застосування хімічного методу обмежене, оскільки поряд з видаленням задирок і гострих кромки, відбувається травлення поверхонь, що тягне за собою змінення розмірів.

Ультразвукові методи, які ефективні для очищення відкритих поверхонь деталей від масла, мікрочастинок, не гарантують очищення поверхонь у тінювих зонах і від задирок.

Застосування розглянутих методів очищення деталей в агрегатобудуванні стримується жорсткими вимогами до якості деталей і вузькою спеціалізацією методів. Тому в дрібносерійному виробництві необхідно застосовувати універсальні методи і обладнання, що дозволяють обробляти при мінімальних витратах на підготовку виробництва велику номенклатуру деталей, виготовлених з різних металів. При цьому повинні оброблятися як зовнішні, так і внутрішні поверхні деталі незалежно від складності конфігурації поверхонь, розмірів отворів та інше. Має також забезпечуватися швидке переналагодження обладнання залежно від марки оброблюваного матеріалу, величини задирок та інших чинників.

Устаткування для термоімпульсної обробки в два рази дешевше зарубіжного аналогів.

Витрати на видалення задирок з однієї деталі у 2,2 рази менше, ніж у зарубіжного аналога. Найбільш перспективним з усіх розглянутих способів є термоімпульсний у поєднанні з ультразвуковим.

Виділення крайок з класу поверхонь в окремий вид, пов'язаний зі значним зростанням вимог до механічних властивостей, геометрії поверхні та мікрорельєфу. При вирішенні прямої задачі формоутворення такі вимоги призводять до застосування специфічних технологічних процесів, наприклад, електрохімічних, термоімпульсних методів, магнітно-абразивної або лазерної обробки [14, 37]. Зворотня задача контролю крайок виконується у виробничих умовах, що накладає обмеження на її реалізацію. Тому для цих цілей використовуються безконтактні системи вимірювання параметрів в комбінації з високоточними системами координатних осей ЧПУ. Це дозволяє робити точні вимірювання.

Аналіз результатів досліджень щодо забезпечення вимог до мікрорельєфу поверхневого шару при механічній обробці дозволяє зробити висновок про помітний вплив на цей процес жорсткості оснащення та інструменту, подачі, швидкості і глибини різання, геометрії ріжучої частини інструменту [1, 38, 39, 41, 44, 45, 50]. Зворотня задача вирішується із застосуванням спеціальних вимірювальних систем контролю якості поверхневого шару деталі, наприклад, профіломера, тунельного або атомного мікроскопів та інше [51].

Забезпечення промислової чистоти поверхні деталі і середовища її експлуатації реалізується з використанням спеціального обладнання для видалення забруднюючих частинок, використовують спеціальних вимірювальних систем контролю промислової чистоти поверхневого шару деталі й експлуатаційного середовища. Кромка реальної деталі є перехідною сложнопрофільною поверхнею. Перед технологом стоїть завдання вибору способу обробки поверхонь та крайок деталей з метою забезпечення необхідного мікрорельєфу й промислової чистоти.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Жданов, А. А. Обеспечение качества гидротопливных агрегатов летательных аппаратов за счет новых технологий / А. А. Жданов // Технологические системы. – 2002. – № 5. – С. 9 – 13.
2. Белянин, П. Н. Промышленная чистота машин. П. Н. Белянин, В. М. Данилов. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
3. Муслимов, В. М. Динамика фрикционного взаимодействия: монография / В. М. Муслимов, В. А. Валетов. – СПб. : ГУ ИТМО, 2006. – 191 с.
4. Тимиркеев, Р. Г. Количественные зависимости влияния параметров механических примесей на показатели надежности золотниковых агрегатов гидротопливных систем В. В. Плихунов, Н. Н. Губин // Авиационная промышленность. – 2000. – № 3. – С. 102 – 105.
5. Лосев, А. В. Технологическая система для удаления ликвидов с поверхностей деталей / А. В. Лосев, А. А. Коростелева, О. А. Лосева // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (68). – Харьков, 2011. – С. 126 – 132.
6. Лосев, А. В. Повышение качества прецизионных механизмов путем технологического предотвращения загрязнения деталей / А. В. Лосев, А. А. Коростелева, О. А. Лосева // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (84). – Харьков, 2015. – С. 154 – 164.
7. Лосев, А. В. Технологическая система удаления ликвидов с поверхностей деталей / А. В. Лосев, И. В. Бычков, С. И. Планковский // Оборудование и инструмент: Междунар. инф.-техн. журнал 2013. – № 2 (154). – С. 80 – 82.
8. Лосев, А. В. Технологическая система удаления ликвидов с поверхностей деталей / А. В. Лосев, И. В. Бычков, С. И. Планковский // Оборудование и инструмент: Междунар. инф.-техн. журнал. 2013. – № 3 (156). – С. 102 – 105.
9. Лосев, А. В. Отделочно-зачистные технологии в машиностроении. / А. В. Лосев, В. А. Фадеев // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків, 2007. – Вип. 4. – С. 7 – 12.
10. Лосев, А. В. Необходимость использования отделочно-зачистных технологий в машиностроении / А. В. Лосев, О. А. Лосева, Ю. С. Дмитриевская // Металлообработка 2009. – Вып. 1(49). – СПб. – С. 2 – 9.
11. Новые технологические процессы и надежность ГТД / Производственно-технический сборник. Отчет КМПО «Труд» по прочности технологической доводки изделий. – М. : ЦИАМ. – 1990. – № 52. – 175 с.

12. Васильков, Д. В. Эффективность использования международных стандартов при контроле микрогеометрии поверхностей деталей/ Д. В. Васильков, Д. Ю. Печенюк // Инструмент.– СПб. ; 1998.– С. 6 – 7.
13. Лосева, О. А. Проблема скругления кромок./ О. А. Лосева // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-тут».– Харьков, 2010.– Вып. – С. 122 – 128.
14. Лосева, О. А. Обработка кромок деталей термоимпульсным методом / О. А. Лосева, А. В. Лосев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2009. – Вып. 42 – С. 120 – 126.
15. Gillespie LaRoux K. Worldwide Trends of Burr Technology & Present Status in the U.S.A.- 6th International Conference “Precision Surface Finishing and Deburring Technology-2000.– P. 6–57.
16. Gillespie, LaRoux K. Deburring, deflashing, and edge finishing of microparts:SME Technical Paper TP10PUB83. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 2010.
17. Жданов, А. А. Термоимпульсные технологии очистки поверхностей деталей агрегатов авиационных двигателей: дис. ... канд. техн. наук : 05.07.04 / Жданов Александр Андреевич. – Харків, 2003. – 182 с.
18. Лосев, А. В. Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода : дис....канд. техн. наук : 05.02.08; / Лосев Алексей Васильевич. – Харьков, 1995. – 210 с.
19. Лосев, А. В. Сравнительный анализ существующих методов и выбор очистки поверхностей деталей авиационных агрегатов/ А. В. Лосев, А. А. Жданов, Е. Н. Сломинская // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків, ХАІ. – 2003. – Вип. 1. – С. 108 – 116.
20. Одинцов, Л. Г. Методы отделочно-зачистной обработки изделий народного потребления / Л. Г. Одинцов // Металлургия машиностроения – 2002.– № 2.– С. 37–47.
21. Лосев, А. В. Особенности применения и перспективы развития термоимпульсной зачистки/ А. В. Лосев// Механизация и автоматизация производства.– 1991.– № 12.– С. 28–30.
22. Сломинская Е. Н. Термоимпульсная отделка поверхностей деталей летательных аппаратов: дис. ... канд. техн. наук : 05.07.04 / Сломинская Е. Н. – Харків, 1996. – 165 с.
23. Сломинская, Е. Н. Технологическая система для обеспечения промышленной чистоты прецизионных изделий / Е. Н. Сломинская, А. В. Лосев, А. В. Фадеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологи; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования; «Государственный университет учебно-научно-производственный комплекс». – Орел, 2014. – № 1. – С. 80 – 88.

24. Адонин, С. М. О теплопередаче продуктов детонации газовой смеси в камере/ С. М. Адонин, В. И. Манжалей // Динамика сплошной среды. – Новосибирск, 1986. – Вып. 74. – С. 3 – 10.

25. Манжалей, В. И. Экспериментальные исследования затухания ударных волн и теплопередачи телам после детонации газа в камерах / В. И. Манжалей // Механика реагирующих сред и ее приложение. – Новосибирск, 1989. – С. 123 – 132.

26. Максимук, Б. Я. Детонация в смесях горючих газов с кислородом/ Б. Я. Максимук, В. В. Суханов, А. А. Комисаренко.– Киев : Наук. думка, 1984. – 120 с.

27. Лосев, А. В. Особенности использования отделочно-зачистных технологий в производстве авиационной техники/ А. В. Лосев, И. В. Бычков, С. А. Красовский // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2017. – Вып.76.– С. 68 – 78.

28. Вивденко, Ю.Н. Технологические системы производства деталей наукоемкой техники. Учебное пособие для вузов [Текст] / Ю.Н. Вивденко. – М.: Маш., 2006. – 550 с.

29. Мялица, А.К. Корректные и некорректные постановки задач формообразования [Текст] / А. К. Мялица, Е. Н. Бут, И.В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ".– 2008– Вып. 39. – С. 6–13.

30. Дальский, А.М. Технологическое обеспечение надёжности высокоточных деталей машиностроения [Текст] / А.М. Дальский. – М.:Маш.– 1975. – 222 с.

31. Инженерия поверхности детали [Текст] / А.Г. Суслов, В.Ф. Безъязычный, Ю.В. Панфилов и др. – М.: Маш., 2008. – 320 с.

32. Крекнин, Ю. С . Анализ минеральных смазочных масел на спектрометре «Спектроскан» [Текст] / Ю.С. Кренкин // – Эйергодиагностика-95.-Тр. междунар .конф. – М., 1995 . – Т. 3. – С. 346–353.

33. Демкин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин [Текст] / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М. Маш., 1981. – 224 с.

34. DIN ISO 13715. Technical drawings – Edges of undefined shar – Vocabulary and indication on drawings (ISO 13715: 2000) [Text] – Взамен DIN ISO 13715(1998-09); введен 01.12.2000. – ISO/TC 10, 2000. – 12 p.

35. Aurich, Jan C. Burrs – Analysis, Control and Removal [Text] / Jan C. Aurich, D. Dornfeld // Proceeding of the CIRP International Conference on Burrs. 2nd-3rd april, 2009. – University of Kaiserslautern (Germany), 2010. – 254 p.

36. Childs, T. Metal Machining. Theory and Applications [Text] / T. Childs, K. Maekawa, T. Obikawa, Y.Yamane// London: ARNOLD. – 2000. – 408 p.

37. Лосев, А.В. Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода: дис. канд. техн. наук: 05.02.08. – Х., 1995. – 210 с.
38. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин [Текст] / А.Г. Суслов. – М.:Маш. – 2000. – 320 с.
39. Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей машин [Текст] / А.Г. Суслов. – М.:Маш. – 1987. – 207 с.
40. Дальский, А.М. Технологическое обеспечение надёжности высокоточных деталей машиностроения [Текст] / А.М. Дальский. – М.:Маш. – 1975. – 222 с.
41. Ящерицын, П.И. Технологическая наследственность в машиностроении [Текст] / П.И. Ящерицын, Э.В. Рыжов, В.И. Аверченко. – Минск: Наука и техника. – 1977. – 221 с.
42. Братухин, А.Г. Интегрированная логистическая поддержка наукоемкой продукции на основе CALS – основа электронного бизнеса [Текст] / А.Г. Братухин, В. И. Давыдов // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К.: Техніка, 2001. – С. 668 – 709.
43. Климов, А.Н. Организация и планирование производства на машиностроительном заводе [Текст] / А.Н. Климов, И.Д. Оленев, С.А. Соколицин. – Л.: Маш., 1973, – 496 с.
44. Бычков, И.В. Корректная постановка задач формообразования для оборудования с ЧПУ [Текст] / И. В. Бычков // Технологические системы. – 2011. – №2. – С. 22– 28.
45. Соколовский, А.П. Научные основы технологии машиностроения [Текст] / А. П. Соколовский. – М.: Машгиз, 1955. – 516 с.
46. Машиностроение: энциклопедия. Т. IV-3 «Надёжность машин» [Текст] / В.В. Ключев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин и др.// М.:Маш., 1987. – 592 с.
47. Качество машин; справочник. В 2-х т. Т.1 [Текст] /А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. – М.:Маш., 1995. – 256 с.
48. Tukora, V. Material removal simulation and cutting force prediction of multi-axis machining processes on general-purpose graphics processing units.– PhD Dissertation. – Budapest, 2012. – 109 p.
49. Weinert, K. Swept volume generation for the simulation of machining processes [Text] / K.Weinert, S-J. Du, P. Damm, M. Stautner // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2004. – № 44 (6). – P. 617–628.
50. Инженерия поверхности детали [Текст] / А.Г. Суслов, В.Ф. Безъязычный, Ю.В. Панфилов и др. – М.: Маш., 2008. – 320 с.
51. Порошин, В.В. Основы комплексного контроля топографии поверхности детали. Монография [Текст] / В.В. Порошин – М.: Маш., 2007. – 196 с.

Навчальне видання

Бичков Ігор Валерійович
Лосєв Олексій Васильович
Григорович Антон Михайлович
Селєзньова Ганна Сергіївна

ПРОМИСЛОВА ЧИСТОТА В АВІАКОСМІЧНІЙ ГАЛУЗІ

Редактори: Є. О. Александрова, С. П. Гевло

Зв. план, 2020

Підписано до друку 30.12.2020

Формат 60x84 1/16. Папір офс. Офс. друк

Ум. друк. арк. 4,9. Обл.-вид. арк. 5,5. Наклад 50 пр.

Замовлення 317. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський аерокосмічний університет»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001