

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

ВИРОБНИЦТВО ТА РЕМОНТ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК І КОМПРЕСОРІВ

Лабораторний практикум
для студентів напрямку підготовки
6.050604 «Енергомашинобудування»

VIVERE!
VINCIERE!
CREARE!

Київ 2015

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

**ВИРОБНИЦТВО ТА РЕМОНТ ГАЗОТУРБІННИХ
УСТАНОВОК І КОМПРЕСОРІВ**

Лабораторний практикум
для студентів напряму підготовки
6.050604 «Енергомашинобудування»

Київ 2015

УДК621.452.3(076.5)

ББК3363.3р

В524

Укладачі: Запорожець В.В., Духота О.І., Хімко А.М.,
Якобчук О.Є., Токарук В.В.

Рецензент к.т.н., доц. кафедри машинознавства
Корнієнко А.О.

*Затверджено методично-редакційною радою Національного
Авіаційного Університету (протокол № від року)*

В524 Виробництво та ремонт газотурбінних установок та
компресорів. / лабораторний практикум / уклад.:
Запорожець В.В., Духота О.І., Хімко А.М., та ін. – К.: Вид-во
Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2015.– 42 с.

Розглянуто основні технологічні процеси що застосовуються
при виробництві та ремонті газотурбінних установок. Подано
короткі теоретичні відомості і порядок виконання робіт.
Призначено для студентів напряму 6.050604
«Енергомашинобудування».

ЗМІСТ

Вступ.....	4
<u>Лабораторна робота 1</u> Побудова технологічного процесу виготовлення деталей гту з використанням технології RAPID PROTOTYPING	5
<u>Лабораторна робота 2</u> Вплив технологічних баз на точність виготовлення деталей.....	11
<u>Лабораторна робота 3</u> Технологія виготовлення деталей за технологією HIGH SPEED MANUFACTURING.....	19
<u>Лабораторна робота 4</u> Технологія складання роторів газових турбін при виготовленні ГТУ.....	23
<u>Лабораторна робота 5</u> Зношування деталей гту і компресорів в процесі експлуатації.....	26
<u>Лабораторна робота 6</u> Визначення технічного стану деталей ГТУ	29
<u>Лабораторна робота 7</u> Методи відновлення працездатності деталей ГТУ і компресорів	32
<u>Лабораторна робота 8</u> Ремонт різьбових з'єднань та заміна шпильок.....	36
Список літератури	41

ВСТУП

Розвиток газоперекачувальної галузі потребує постійного поповнення відповідних підприємств кваліфікованими інженерними кадрами.

Мета методичних рекомендацій, що відповідають навчальній програмі курсу «Виробництво та ремонт газотурбінних установок і компресорів», – закріплення і поглиблення знань лекційного матеріалу, набуття навиків проведення самостійних дослідів, необхідних для реалізації завдань майбутніми інженерами-механіками у процесі виробництва, ремонту та технічного обслуговування газотурбінних установок.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи проводиться опитування студентів. При незадовільному знанні теми студент до виконання лабораторної роботи не допускається, але він зобов'язаний після відповідної підготовки виконати ці завдання з іншою групою.

Кожне виконане завдання потрібно оформити у вигляді звіту.

Тільки після затвердження звіту викладач допускає студента до виконання наступної лабораторної роботи. Студенти, які не здали лабораторні роботи відповідно до навчальної програми, до модульних контрольних робіт не допускаються.

Лабораторна робота 1

ПОБУДОВА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ГТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ RAPID PROTOTYPING

Мета – розглянути принципи побудови технологічних процесів виготовлення деталей газотурбінних установок, ознайомитись з термінами та визначеннями основних понять єдиної системи технологічної документації.

Завдання

1. Засвоїти основні теоретичні положення за матеріалами лекцій та рекомендованою літературою.
2. Вивчити основні терміни та визначення основних понять, що використовуються в єдиній системі технологічної документації.
3. Вивчити основні принципи побудови технологічного процесу окремо взятої деталі.
4. Розробити макет технологічного процесу деталі (креслення деталі видає викладач).

Короткі теоретичні відомості

Традиційна аналогова технологія не в змозі достатньо швидко реагувати на вимоги ринку. Робочі процеси виготовлення за аналоговими технологіями традиційно базуються на пошаровому видаленні матеріалу заготовки для отримання деталі заданих розмірів, форми і якості. Створення прототипів виробів, їх моделей також вимагає багато часу.

Час створення продукту (ЧСП) - проміжок часу між виникненням ідеї і впровадженням продукту на ринок, істотно впливає на конкурентоспроможність підприємства. Аналіз вказує, що часто більш ніж 25% ЧСП випадає на частку виготовлення прототипів і зразків, виготовлення 60% прототипів і прототипів штампів знову ж таки складає декілька місяців, так що швидке виготовлення прототипів має великий потенціал скорочення ЧСП.

Аналіз циклу створення продукту (ЦСП) показує, що у всіх його фазах - від виникнення ідеї продукту аж до його впровадження на ринку - необхідний прототип. Для промислових товарів широкого споживання ЦСП може бути розділений на 6 фаз. Прототипи, використані в окремих фазах створення, мають різні ознаки щодо кількості екземплярів, властивостей матеріалу, що використовується, а також геометричних, естетичних і функціональних вимог (рис. 1.1).

У **фазі передрозвитку** багато разів опрацьовуються дизайн

моделей і геометричні прототипи, які, як правило, проводяться в одному екземплярі. Функціональні вимоги в цій фазі мають другорядне значення, проводяться такі моделі багато разів з різноманітних матеріалів. Використовуються вони для вивчення дизайну і ергономіки, а також для перших етапів маркетингу.

В протилежність першій групі **геометричні прототипи**, що вже володіють естетичними властивостями, повинні задовольняти більш високим вимогам щодо точності розмірів і правильності форми. Функціональні властивості поки також мають другорядне значення. Матеріал для геометричних прототипів не обов'язково відповідає матеріалу серійних деталей, як правило, тут також призначається матеріал моделювання. Типова область застосування цього способу - виробниче планування виготовлення, повторна перевірка виробництва і складки, а також грубе планування виготовлення і збірки, де прототипи необхідні як засіб комунікації.



Рис.1.1. Етапи створення прототипів виробів (традиційні)

У фазі створення функціонального зразка виготовляють від 2 до 5 прототипів з метою перевірити ідею виробу за принципом роботи і функціонування і, отже, оптимізувати. Основне питання на цьому етапі створення полягає в тому, що аналізуються функції окремих компонентів виробу і його складових частин. Протягом планування процесу будуть привернуті функціональні прототипи до планування виробництва, послідовності виготовлення, плануванню збірки і засобів виробництва, виключаючи зовнішній вигляд і допуски на

розміри. Вся решта властивостей має другорядне значення, оскільки вони не шкодять процесу функціонування.

В наступній **фазі створення виготовляються технічні прототипи** у великих кількостях екземплярів (залежно від конкретних умов - від 3 до 20), які по можливості повинні бути тотожні кінцевій продукції в частині матеріалу і встановленої технології, що використовується. При виготовленні, наприклад, деталей, одержуваних штампуванням, литтям під тиском, призначається проведення пробних аналізів функції виробу, тривалості завантаження виробництва, технологічності і реакції споживачів на пробну (досвідчену) партію, і відповідно вибираються пробні інструменти. Результати таких перших тестів можуть використовуватися для оптимізації конструкції.

Упровадження виробу на ринок відбувається в передсерійній фазі залежно від галузі в кількості до 500 штук. Окремі конструктивні елементи проводяться з матеріалу серії при використуванні більш пізнього по етапу інструменту і технології. Передсерія необхідна в області планування виробу, для інтенсивного тестування його і ринку. В цій фазі відбувається розгін виробництва, необхідний для визначення параметрів виробництва і проведення оптимізації. Остання вносить деякі зміни для поліпшення кінцевої продукції (зворотний зв'язок).

Виготовлення моделей і прототипів, необхідних в рамках створення виробу, відбувається, як правило, за допомогою звичайних технологій, при необхідності в комбінації з ливарним виробництвом. Зокрема, тут знаходять вживання NC фрезерні верстати, копіювальні фрезерні, токарні верстати і ін. Окрім цього, ці моделі уручну збирають, склеюють або спаюють.

Нові етапи розвитку науки, інформатики, техніки CNC, лазерній технології і т.д. дозволили перейти до інтегрованих генеративних способів прискороного формоутворення на макрорівні, позбутися декількох фаз створення прототипів.

Ідеологія прискороного формоутворення виробу (моделі, прототипу) базується на: можливості комп'ютерного автоматизованого проектування виробу (по фотографіях, кресленнях, аналітичній залежності або результатах вимірювань), комп'ютерної оптимізації його конструкції, виходячи з вимог дизайну, форми, функціональних властивостей (CAD); трансформації трьох координатної моделі в сукупність пошарових моделей; можливості відтворити цю сукупність пошарових моделей (рис. 1.2), тобто матеріалізувати всю модель як єдине ціле, як твердотільний виріб або його прототип (CAM).

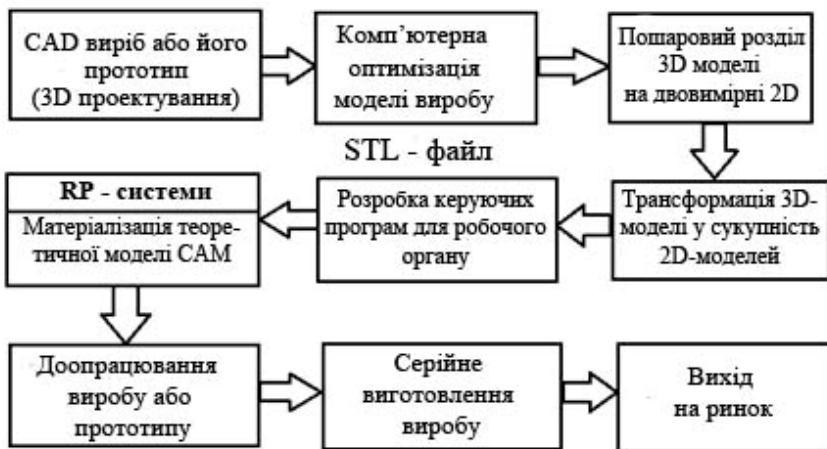


Рис 1.2. Структура інтегрованого робочого процесу прискореного формоутворення - Rapid Prototyping

Таким чином, функціональна структура інтегрованого робочого процесу прискореного формоутворення виробу може бути представлена в такій послідовності:

1. Отримання тривимірної математичної моделі виробу. Вона створюється за даними креслення, приватній аналітичній залежності. Якщо виріб відтворюється, то модель одержують на трьох координатній вимірювальній машині шляхом обміру оригіналу скануванням поверхні пошарово або покрапкового (рис. 1.3)

2. Комп'ютерна оптимізація конструкції створюється за програмами, виходячи з функціонального призначення, дизайну, ін. вимог, що пред'являються до виробу, що розробляється. Важливість цього етапу визначається ще і тим, що для комп'ютерної оптимізації не потрібна твердотільна модель або виріб, що різко скорочує час на проектування.

3. Пошарове представлення теоретичної моделі сукупністю двовірних відносно простих моделей (рис. 1.3).

4. Створення програм комп'ютерного управління рухом робочого органу, «інструменту», за допомогою якого пошарово відповідно до сукупності 2D моделі матеріалізуватиметься теоретична модель виробу або його прототипу.

5. Пошарове (рис. 1.3) отримання одним із способів цільної твердотільної моделі або виробу (або серії виробів). Наочно ілюструє ці етапи прискореного формоутворення рис. 1.4.

6. Остаточний виріб або модель одержують подальшим

поліпшенням властивостей. Для цього на першій стадії встановлюється відмінності властивостей очікуваного прототипу і

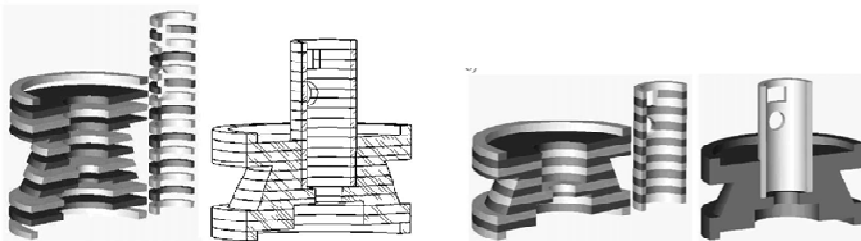


Рис.1.3. Основні переходи способу RP

необхідного виробу - по геометричній формі, фізичним, механічним, хімічним і ін. властивостям.

На другій стадії частина цих відмінностей усувається за рахунок параметрів процесу матеріалізації теоретичної моделі.

На третій, остаточній стадії відбувається «облагороджування» виробу, максимально можливе наближення його функціональних властивостей до тих, що вимагаються: зносостійкість, міцність, електропровідність, металізація, доведення і т.д.

Вигладене дозволяє по іншому збудувати весь ланцюжок прототипування і виробництва виробу, цілком базуючись на ідеології генеративного пошарового виготовлення (рис. 1.4). Порівняння з традиційними підходами (рис. 1.3) показує, що генеративна технологія ефективна на етапах прототипування і дозволяє скоротити кількість цих етапів.

Але головна перевага полягає в тому, що ідея способу генеративного (пошарового) виготовлення є об'єднуючою, інтегруючою процеси моделювання, створення інструментального забезпечення і виготовлення.

Це дозволяє представити концептуальну структуру інтегрованих технологій, що базуються на ідеї генеративного виготовлення таким чином: комп'ютерне створення концептуальних моделей, генеративне створення функціональних прототипів, генеративне створення інструментального забезпечення, генеративне серійне виробництво, вихід на ринок.

Загальноприйнята наступна класифікація реалізованих генеративних технологій (умовні позначення відповідають аббревіатурам, створених з початкових букв англійських слів назв способів RP (Rapid Prototyping) і представлені в алфавітному порядку):

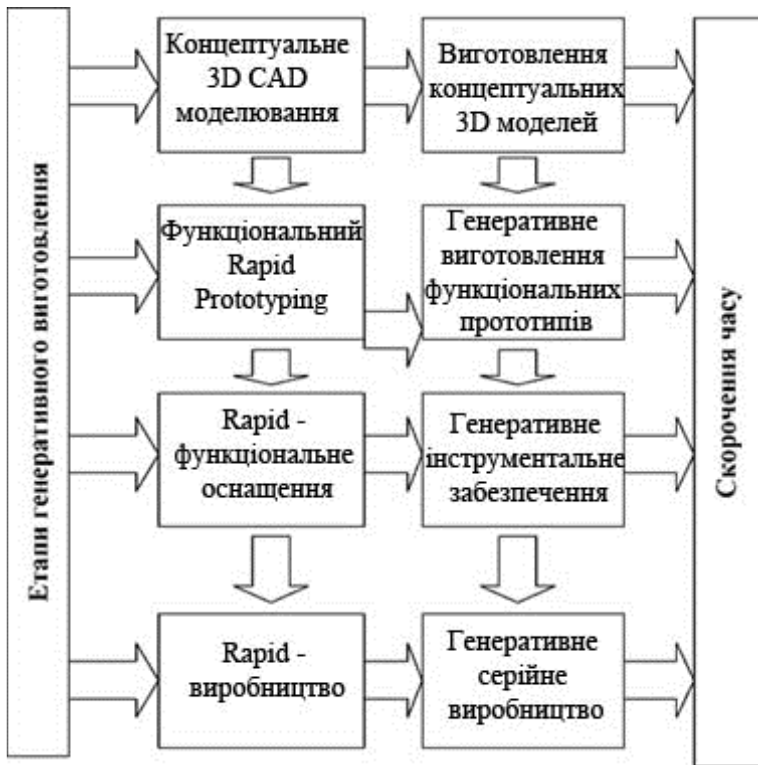


Рис. 1.4. Етапи генеративного створення прототипів і виробів

- 3DW (Three Dimensional Welding) – тримірне наплавлення (зварювання);
- BPM (Ballistic Particle Manufacturing) – виготовлення з використанням балістики частинок;
- DMD (Direct Metal Deposition) – пряме нанесення металу;
- FDM (Fused Deposition Modeling) – моделювання оплавленням;
- GPD (Gas Phase Deposition) – осадження з газової фази;
- HIS (Holographic Interference Solidification) – твердіння голографічною інтерференцією;
- LENS (Laser Engineering Net Shaping) – формування за допомогою лазерної інженерної мережі;
- LOM (Laminated Object Manufacturing) – виготовлення шаруватих об'єктів;
- MJM (Multi Jet Modeling) – багатоструминне відтворення;
- MJS (Multiphase Jet Solidification) – отвердіння багатофазного

струменя;

➤ RMPD (Rapid Micro Product Development) – швидке виготовлення мікротоворів;

➤ SGC (Solid Ground Curing) – отвердіння щільної основи;

➤ SLA (Stereo Lithographics Apparatus) – лазерна стереолітографія;

➤ SLS (Selective Laser Sintering) – вибіркове лазерне спікання;

➤ TDP (Three Dimensional Printing) – тримірний друк; Останнім пунктом є доробка виробів після вирощування – постпроцеси (PP), до них також можна віднести верифікацію виробів:

➤ PP (Post Process) – постпроцеси.

Під час систематизації генеративних технологій запис постпроцесу для визначення способу RP доцільно виконувати наступним способом: PP(абrevіатура способу), наприклад PP(SLA).

Порядок виконання роботи

1. Отримати креслення деталі або деталь ГТУ від викладача.
2. Розробити технологічний процес виготовлення деталі ГТУ.
3. Оформити звіт.

Звіт

Звіт повинен містити ескіз виробу, макет технологічного процесу виготовлення деталі ГТУ, назви основних елементів технологічного процесу, перелік обладнання, що використовується для виготовлення та контролю деталей.

Лабораторна робота 2

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ НА ТОЧНІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

Мета – вивчити залежність точності виготовлення деталей від схеми технологічного процесу і вибору баз, що використовуються для установки деталей на верстаті або у пристрою.

Завдання

1. Скласти схему технологічного процесу виготовлення втулки на вертикально-свердлильному верстаті.

2. Вибрати варіант схеми кондуктора, що забезпечує найменшу втрату точності перенесення розміру при свердленні у втулці трьох отворів по 3 мм з однієї установки.

3. Виготовити втулку.

Короткі теоретичні відомості

Бази виробів і їхня роль у забезпеченні заданої точності. Утворення розмірів виробів описують за допомогою теорії розмірних ланцюгів.

Розмірним ланцюгом називають сукупність розмірів, що утворюють замкнутий контур і безпосередньо беруть участь у вирішенні поставленої задачі (відповідно до ГОСТ 16319-70).

Окремі розміри, що складають розмірний ланцюг, називаються її ланками (рис. 2.1). L_1 , L_2 , L_3 – складові ланки, а $L_{зам}$ – замикаюча ланка. Розмір замикаючої ланки утворюється автоматично в результаті рішення поставленої задачі. Ланки L_1 і L_2 називаються *зменшуючими*, оскільки з їхнім збільшенням зменшується розмір замикаючої ланки. Ланку L_3 називають *збільшуючою*, оскільки із її збільшенням збільшується розмір замикаючої ланки.

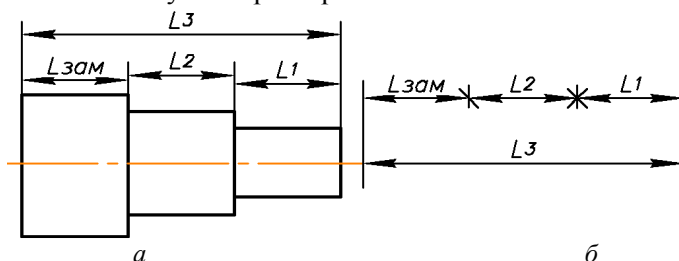


Рис.2.1. Побудова розмірного ланцюга східчастого валика: *a* – схема проставлення розмірів; *б* – розмірний ланцюг

Номінальні розміри всіх ланок розмірного ланцюга описуються рівнянням:

$$L_{зам} = \sum_{i=1}^m L_{зб} - \sum_{k=1}^n L_{зм} ,$$

де $L_{зб}$ і $L_{зм}$ – відповідно ланки, що збільшують і зменшують; m – загальна кількість ланок, що збільшують, n – ланки, що зменшують.

Це основне рівняння розмірного ланцюга. На його основі складаються рівняння похибок розмірного ланцюга і рівняння допусків на замикаючу ланку. Рішення розмірних ланцюгів зводиться до розрахунку допусків на замикаючу ланку.

Розмірні ланцюги, за допомогою яких вирішуються задачі забезпечення точності виробу в процесі його виготовлення, називаються *технологічними*. Очевидно, що чим довший розмірний ланцюг, тим більший розмір похибок, що впливають на точність утворення розміру замикаючої ланки. На основі цього положення сформульований *принцип найкоротшого шляху*. Цей принцип є

найважливішим у створенні технологічних процесів високої точності. Сутність цього принципу полягає в проектуванні такого технологічного процесу, що має найкоротший технологічний розмірний ланцюг. Реалізується цей принцип шляхом правильного вибору баз.

Базуванням називається надання заготовці або виробові необхідного положення відносно обраної системи координат. Базування здійснюється при проектуванні заготовки, виробів і технологічних процесів, їхньому виготовленні і складанні (відповідно до ГОСТ 21395-76).

Базою називається поверхня або виконуючі ту саму функцію, вісь, точка, що є складовою заготовки або виробу і використовується для базування. База технологічного процесу, обрана при проектуванні виробу, називається *проектною*.

За призначенням бази поділяються на конструкторські, технологічні, вимірвальні тощо.

Конструкторською називається база, що визначає положення деталі або складальної одиниці у виробі.

Технологічною називається база, яка використовується для визначення положення заготовки або виробу в процесі виготовлення або ремонту.

Вимірвальна база використовується для визначення відносного положення заготовки або виробу і засобів виміру.

Технологічні бази існують у вигляді реальних поверхонь, які використовуються у процесі виготовлення і складання виробів для визначення їхнього положення відносно інструмента, відносно один одного або у пристрої.

Розрізняють встановлювальні, вимірвальні та складальні технологічні бази (далі просто «баз»).

Встановлювальні бази визначають положення заготовки у пристрої відносно інструмента.

Складальними називають бази, що визначають положення однієї деталі у пристрої відносно інших при складанні. Сукупність складальних баз деталей утворює складальну базу вузла або агрегату.

Відстань між конструкторською і технологічною базами називається *базисним розміром*. При суміщенні цих баз базисний розмір дорівнює нулю.

Виробнича похибка ΔA деякого розміру A утворюється алгебричним підсумовуванням похибок, що виникають на різних етапах опрацювання Δ_0 , і похибки базисного розміру $\Delta \delta$:

$$\Delta A = \Delta_0 + \Delta\delta.$$

Отже, похибки попередніх операцій входять до складу наступних у формі похибки базисного розміру.

При багатоопераційних процесах може відбутися накопичення похибки базисного розміру, який може бути значним.

Суміщення конструкторської і технологічної баз називається *правилом єдності баз*. Завдяки дотриманню цього правила при проектуванні технологічних процесів розмірний ланцюг стає коротшим та істотно підвищується точність виготовлення деталей (рис. 2.2).

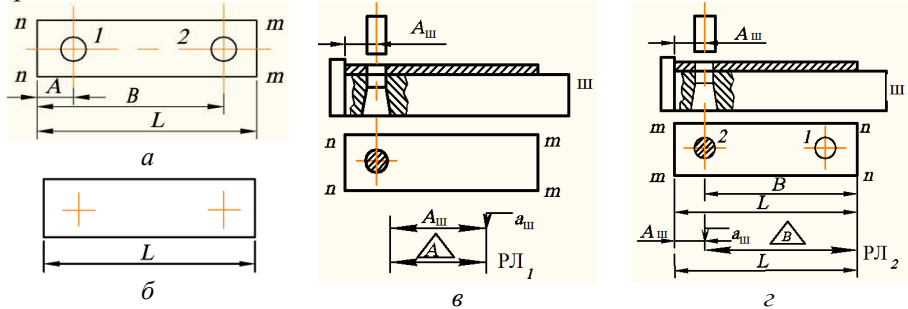


Рис. 2.2. Різні правила побудови технологічного процесу вирубання: *a* – деталь; *б* – заготовка; *в* – вирубання отвору 1 із дотриманням правила єдності баз; *г* – вирубання отвору без дотримання правила єдності баз; Ш – штамп; О – отвір вирубаний; \otimes – отвір не вирубаний; PЛ₁ і PЛ₂ – розмірні ланцюги, що відповідають технологічним процесам, побудованим відповідно з дотриманням і без дотримання правила єдності баз

Наприклад, деталь з отворами 1 і 2 (рис. 1.2, *a*) виготовляється зі смуги (рис. 2.2, *б*). При вирубванні отвору 1 конструктивна база (поверхня *n – n*) одночасно є технологічною. У цьому випадку базисний розмір дорівнює нулю. Розмірний ланцюг PЛ₁ – найкоротший. Точність положення центру отвору 1 визначиться похибкою *a*_ш розміру штампа *A*_ш.

При вирубванні отворів 2 за установочну базу приймаємо поверхню *m – m*. У цьому випадку конструктивна база (поверхня *n – n*) і технологічна база (поверхня *m – m*) не збігаються. У цьому випадку порушено правило єдності баз. Розмірний ланцюг PЛ₂ одержує додаткова ланка у вигляді базисного розміру *L*.

Виробничі похибки, що утворюються при виконанні технологічного процесу, поділяються на систематичні і випадкові.

Систематичними називаються похибки, що регулярно повторюються при виконанні технологічного процесу. Розмір і знак цих похибок можна прогнозувати з високим ступенем точності.

Систематичні похибки бувають постійними або змінними.

Випадковими називаються похибки, виникнення яких є непрогнозованим. При виготовленні деталей і складанні виробів виникають похибки їхніх розмірів, форм, характеристик поверхневого прошарку, маси тощо.

Виробничі похибки розмірів і форм виготовлення деталей виникають унаслідок таких причин: неточність обладнання, пристроїв, інструмента; недостатня жорсткість системи верстат – пристрій – інструмент – деталь; коливання фізико-механічних властивостей матеріалу, із якого виготовляються вироби; температурні деформації; неточності настроювання обладнання.

Вибір установочної бази пристосувань для виготовлення деталей

Точність деталі, що виготовляється, як правило, залежить від точності верстата, жорсткості системи станок – деталь – інструмент, точність пристосування, яке слугує для кріплення деталей, вибору баз, які використовуються для виготовлення деталей. Точність пристосування залежить не тільки від точності виготовлення окремих його елементів, але й від схеми пристосування. Тому в процесі проектування технологічних процесів виготовлення деталей із заданою точністю на металообробних верстатах необхідно вирішувати ряд питань: вибори устаткування і настановних баз, розробка технічних умов для проектування спеціальних пристосувань та інструменту.

Оцінка точності технологічних процесів дає можливість допускати до практичного здійснення тільки ті технологічні процеси, які забезпечують задану проектом точність виготовлення деталей. Проте для забезпечення взаємозамінності деталей потрібно не лише оцінювати точність технологічних процесів, але й керувати цією точністю.

Кінцевий розмір деталі B_d утворюється в результаті перенесення на неї деякого первинного розміру B , вказаного на кресленні і відтвореного калібром: верстатом, пристосуванням або вимірювальним інструментом A_k (рис. 2.3). Чим довший шлях, який проходить первинний розмір від калібру до готової деталі, тим більша кількість операційних похибок є складовими результуючої похибки, тим більш низькою, за інших рівних умов, виявляється точність технологічного процесу.

Тому одним з основних принципів створення технологічних процесів високої точності є принцип найкоротшого шляху: технологічний процес слід будувати так, щоб йому відповідав

найкоротший технологічний розмірний ланцюг деталі. Щоб виконувалася ця вимога, необхідно правильно вибрати технологічні бази деталей.

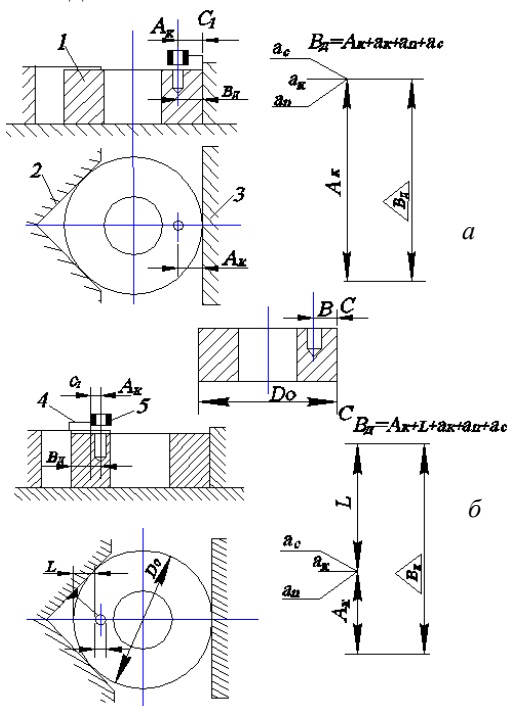


Рис. 2.3. Схема свердлення отвору у втулці: a – з дотриманням єдності баз; b – без дотримання єдності баз; 1 – деталь (втулка); 2 – призма; 3 – плоска опора; 4 – кондукторна плітка; 5 – кондукторна втулка; a_x , a_n , a_c – зміни первинного розміру, рівні нулю і що викликаються відповідно неточністю установки: кондукторної втулки щодо настановної бази у напрямку A_x , призми відносно осі кондукторної втулки у напрямку A_x і похибки самого процесу свердлення

Найкоротшим шляхом утворення розміру деталі є одноетапне перенесення розміру калібру на деталь.

У цьому випадку кінцевий розмір деталі визначається операційним розмірним ланцюгом (рис. 2.3, a).

Необхідна і достатня умова дотримання принципу найкоротшого шляху при обробці деталей полягає в тому, що як настановна база деталі ($C_1 - C_1$) повинні бути використані ті її поверхні, які складають конструктивну базу ($C - C$) або поверхні, яка обробляється (рис. 2.3, a).

Недотримання правила єдності баз у процесі виготовлення деталей, призводить до порушення принципу найкоротшого шляху. У результаті в структурі технологічного розмірного ланцюга з'являється додаткова ланка, що становить базовий розмір деталі L . Цей розмір визначає відстань між конструктивною і настановною базами деталі, що виготовляється (рис. 2.3, b). Отже, порушення правила єдності баз призводить до подовження технологічного розмірного ланцюга деталі на одну ланку – базовий розмір L . Тому

похибка кінцевого розміру $B_{д}$ деталі збільшується на величину погрішності базового розміру ΔL .

На рис. 2.3, б показано схему свердлення отвору у втулці та розмірний ланцюг для випадку, коли правила єдності баз не дотримано.

Правило єдності баз реалізують таким чином: спочатку обробляють ті поверхні деталі, які є конструктивними базами відносно інших поверхонь (вибір настановних баз при цьому не має значення), потім обробляють решту всіх поверхонь, встановлюючи деталь на відповідних конструктивних базах (рис. 2.3, а). Найчастіше на практиці трапляються два види баз: конструктивна і настановна.

Вибір схеми верстатного пристосування

Для забезпечення найбільшої точності перенесення первинного розміру на деталь використовують пристосування, за допомогою якого переноситься розмір, яке повинно бути спроектовано у відповідності до правила єдності баз. У цьому випадку похибка кінцевого розміру $B_{д}$ не залежатиме від базового розміру деталі L (див. рис. 2.4). На практиці виконання цієї умови часто пов'язане зі значним ускладненням конструкції пристосування. Правило єдності баз, зазвичай, порушують лише тоді, коли для відтворення вказаного в кресленні розміру можна використовувати простіше пристосування, яке може бути виготовлене з меншими витратами і в коротші терміни.

Для свердлення трьох отворів у втулці (рис. 2.4) можна використовувати пристосування, схеми яких наведені на рис. 2.5.

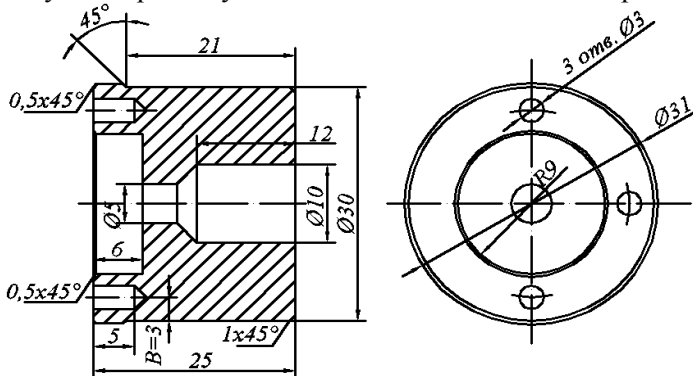


Рис. 2.4. Втулка

У схемі рис. 2.5, а деталь 3 закріплена самоцентруючим пристроєм 2, а плитки 1 з кондукторними втулками 4 переміщуються по направляючому 5 до контакту з циліндровою поверхнею (рис. 2.4). Схема рис. 2.5, а виконана з урахуванням правила єдності баз. За

інших рівних умов пристосування, виконане за схемою *a*, забезпечує вищу точність в порівнянні з пристосуванням, виконаним за схемою *б*. В той же час схема *б* простіша за конструктивним оформленням пристосування, ніж схема *a*. Тому, якщо схема *б* забезпечує необхідну точність, то їй слід віддати перевагу перед схемою *a*.

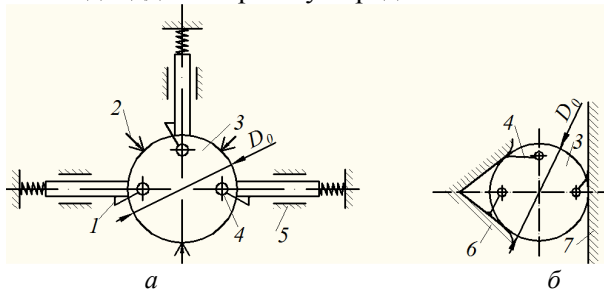


Рис. 2.5. Схеми пристосувань для свердлення трьох отворів у втулці

Точність свердлення отворів за схемою *б* залежить від похибок розміру D_0 і варіантів кріплення кондукторних втулок 4 до опори 7 і притиску *б* пристосувань (рис. 2.5, *б*).

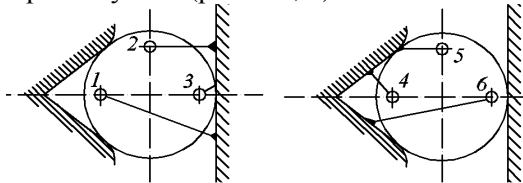


Рис. 2.6. Варіанти кріплення кондукторних втулок:
1, 2, 3, 4, 5, 6 – порядкові номери втулок

Одним із завдань даної роботи є вибір такої комбінації кріплення кондукторних втулок до призми і плоскої опори, при якій втрата точності перенесення розміру B на деталь буде найменшою. Вказане завдання може бути вирішено теоретичним шляхом на основі аналізу точності різних варіантів схеми кондуктора (рис. 2.6).

Порядок виконання роботи

1. Накреслити ескіз втулки.
2. Скласти схему технологічного процесу виготовлення на токарно-револьверному і вертикально-свердлувальному верстатах. У вигляді переліку операцій і переходів із зазначенням устаткування і технологічного оснащення, оформити її у вигляді карти, форму якої видасть викладач.
3. Виміряти діаметр поверхні F мікрометром, визначити похибку:

$$\Delta R = \frac{D_1 - D_0}{2},$$

де D_1 – кінцевий діаметр поверхні F ; D_0 – номінальний діаметр поверхні F .

4. Вибрати варіант схеми кондуктора. Вибрану схему накреслити у звіті.

5. Зібрати деталь у допоміжному пристрою, відповідно до обраної схеми, шляхом установки плитки з кондукторними втулками на призму або на плоску опору.

6. Визначити результуючу похибку ΔB_{oi} з урахуванням a_n і a_c (див. рис. 2.1):

$$\Delta B_{oi} = B_{oi} - B,$$

де B_{oi} – кінцевий розмір.

Звіт

Звіт повинен містити ескіз виробу, схему технологічного процесу виготовлення, варіант схеми кондуктора, розрахунки похибок при виготовленні втулки, висновки.

Лабораторна робота 3

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ HIGH SPEED MANUFACTURING

Мета – вивчити вплив режимів обкатування кулею на шорсткість і мікротвердість оброблювальної поверхні.

Завдання

1. Виконати обробку деталі на верстаті з метою отримання поверхонь різної шорсткості і провести аналіз шорсткості.
2. Здійснити формування якості поверхні деталі завдяки поверхневому пластичному деформуванню.
3. Виміряти параметри шорсткості, твердості; сформулювати висновки.

Короткі теоретичні відомості

Високошвидкісна обробка (HSM) є не тільки інноваційною технологією, що дозволяє скоротити час виробництва і підвищити точність обробки деталей, але також це – реальна стратегія для підвищення продуктивності. Застосування цієї стратегії на пряму зачіпає час циклу і витрати на виробництво. Кінцевим результатом є досягнення високої якості деталей, і, що ще більш важливе, забезпечується збільшення продуктивності.

В основі HSM лежить значне збільшення швидкості шпінделя і подачі, з метою досягти високих результатів обробки, які не були ніколи доступні раніше. Дуже тонкі стінки, гладка поверхня і великі об'єми зняття металу – ось деякі приклади обробки, які можуть бути досягнуті із застосуванням HSM. Обробка HSM може застосовуватися не тільки відносно кольорових металів, зокрема алюмінію, але навіть відносно загартованої сталі і важкооброблюваних матеріалів. Це дозволяє застосовувати технологію HSM в таких галузях промисловості, як авіабудування, виробництво штампів і прес-форм, мініатюрне виробництво, медична промисловість.

Переваги HSC визнані на світовому рівні:

- скорочення часу виробничого циклу на 50% і більш;
- максимальна продуктивність;
- якість обробленої поверхні як після шліфування;
- обробка деталей малих розмірів включаючи нанотехнології;
- комплектна обробка деталі з одного установа.

Теоретичним обґрунтуванням високошвидкісної обробки є так звані криві Соломона (рис. 1.7), які показують, що досягши певної швидкості різання відбувається істотне зниження температур в зоні різання і, що для конкретного матеріалу існує певна швидкість різання, досягши якої подальша обробка різанням неможлива.

Але найважливішим чинником є перерозподіл тепла в зоні різання. При невеликих перетинах зрізу, в даному діапазоні швидкостей основна маса тепла концентрується в стружці, не встигаючи переходити в заготовку. Саме це дозволяє вести обробку загартованих сталей не побоюючись відпустки поверхневого шару. Звідси основний принцип HSM – малий перетин зрізу, що знімається з високою швидкістю різання, і відповідно високі обороти шпінделя табл.1.1. і висока хвилинна подача (рис. 1.8).

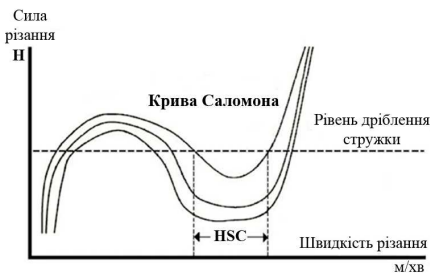


Рис. 3.1. Зміна сил різання із збільшенням швидкості різання

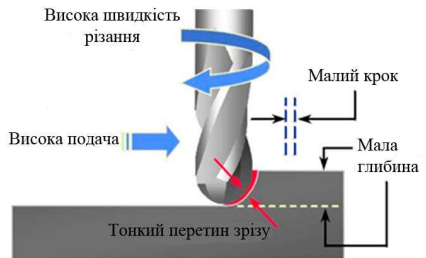


Рис. 3.2. Режими різання для високошвидкісної обробки

Таблиця 3.1.

Швидкість різання різних матеріалів залежно від виду обробки

Матеріал (у відповідності з класифікацією СМС)	Швидкість різання (м/хв)			
	Твердість	Звичайна обробка	HSM - черна	HSM - фінішна
Сталь 01.2	150 HB	< 300	>400	< 900
Сталь 02.1/2	330 HB	< 200	>250	< 600
Сталь 03.11	300 HB	< 100	>200	< 400
Сталь 03.11	39-48 HRC	< 80	>150	< 350
Сталь 04	48-58 HRC	< 40	>100	< 250
GCI 08.1	180 HB	< 300	>500	< 3000
Алюміній	60-75 HB	< 1 000	>2000	< 5000
Кольорові сплави	100 HB	< 300	>1 000	< 2 000

Головний ефект HSM полягає не в скороченні машинного часу за рахунок інтенсифікації режимів різання, а в загальному спрощенні виробничого процесу і в підвищенні якості обробки (рис.1.9).

Є навіть така рекомендація, що глибина різання не повинна перевищувати 10% діаметра фрези. Маючи нагоду вести лезвийну обробку загартованих сталей можна забезпечити якість поверхні сумірне з електроерозійною обробкою. Головний ефект HSM не зменшення машинного часу за рахунок інтенсифікації режимів різання, а підвищення якості обробки і ефективне використання сучасних верстатів з ЧПУ.

Умовою успіху у високошвидкісній обробці може бути правильний вибір всіх чинників, що беруть участь в цьому процесі – верстат, система ЧПУ, ріжучий інструмент, допоміжний інструмент з системою закріплення інструменту, система програмування, кваліфікація технолога програміста і оператора верстата з ЧПУ. Зневага одним з цих складових може звести до нуля всі попередні зусилля.

Сучасний верстат для HSM має швидкість обертання шпинделя 12000-25000 оборотів в хвилину і оснащений засобами температурної стабілізації шпинделя. Деякі фірми пропонують верстати із швидкістю обертання до 40000 об/хв. Швидкості подач 40-60 м/хв, швидкість швидких переміщень до 90 м/хв. Верстати відпрацьовують малі переміщення від 5 до 20 мкм, мають підвищену жорсткість і температурну компенсацію. Саме прогрес в області верстатобудування дозволив здійснити HSM.

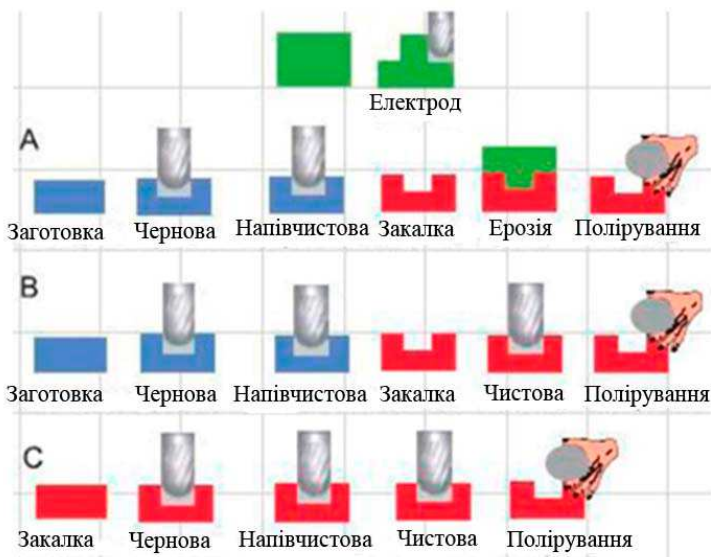


Рис. 3.3. Спрощення виробничого процесу виготовлення формоутворювальних елементів оснащення (прес-форми, штампи) при використуванні HSM

Ведучі інструментальні фірми пропонують сьогодні широку гамму фрез для HSM з докладними рекомендаціями по областях їх застосування і режимах різання. Розробляються нові малодисперсні сплави здатні надійно працювати на високих швидкостях. Більш важливо звернути увагу на системи допоміжного інструменту, які забезпечують кріплення фрез. У зв'язку із зниженням сил різання в процесі HSM на перший план виходять інші чинники – величина биття фрези, вібрації, інерційні навантаження і сили, що виникають при цьому, стають сумірними з силами різання.

Сплави і параметри ріжучих інструментів грають дуже важливу роль в процесі. З урахуванням цього, ISCAR розробив дрібнозернистий твердий сплав без покриття - IC08, для обробки кольорових металів на високих швидкостях різання. Також, ISCAR розробив супердрібнозернистий твердий сплав IC903 із змістом кобальту 12% і покриттям TiAlN PVD, той, що володіє міцністю і високої зносостійкістю для швидкісної HSM обробки загартованої сталі (до 62 HRC), титанових і нікелевих сплавів, і неіржавіючої сталі.

Інструменти з цих сплавів мають спеціальну геометрію і спеціально підготовлені ріжучі кромки для високошвидкісної

обробки. Також, вони демонструють високу міцність при постійному ударному навантаженні на великих частотах, і забезпечують зменшення нагріву і термального розширення [4].

Порядок виконання роботи

1. Отримати креслення деталі або деталь ГТУ від викладача.
2. Розробити технологічний процес виготовлення деталі ГТУ.
3. Оформити звіт.

Звіт

Звіт повинен містити ескіз виробу, макет технологічного процесу виготовлення деталі ГТУ, назви основних елементів технологічного процесу, перелік обладнання, що використовується для виготовлення та контролю деталей.

Лабораторна робота 4

ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ РОТОРІВ ГАЗОВИХ ТУРБІН ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ГТУ

Мета роботи – ознайомити студентів з типовим технологічним процесом збирання роторів турбін авіаційних ГТД.

Завдання

1. Укомплектувати диски ротора турбіни лопатками.
2. Провести розноску вагових моментів за таблицею.
3. Зібрати диски всіх ступенів ротора турбіни.
4. Ознайомитися із заводською технологією спільного збирання ротора турбіни.

Теоретична частина

Для полегшення балансування роторів турбін авіаційних ГТД проводять ретельний підбір лопаток за ваговим моментом у процесі збирання кожного ступеня.

Вагові моменти лопаток визначають на спеціальному пристосуванні (рис. 4.1), яке є пристроєм типу технічних вагів, на яких ліворуч від коромисла кріпиться настроювальний вантаж, а з праворуч встановлюється лопатка 3 відповідного ступеня.

Для налаштування вагів відповідного ступеня для кожного ступеня використовується своя еталонна лопатка. Шкала вагів розбита в градусах. Відхилення стрілки вагів на один градус відповідає зміні моменту на 6 г·см.

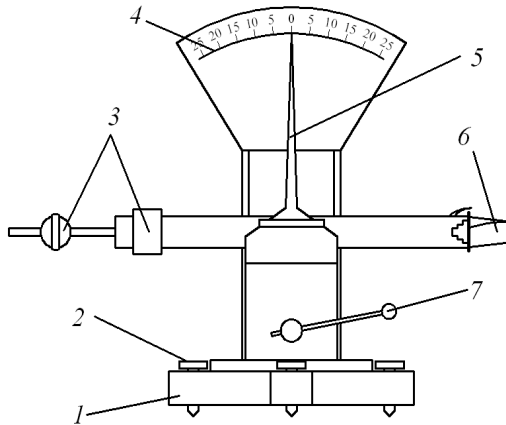


Рис. 4.1. Пристосування для визначення вагового моменту лопаток:
 1 – настроювальні вантажі; 2 – шкала пристосування для виміру вагового моменту лопаток; 3 – еталонна лопатка, 4 – фіксатор нульового положення вагів; 5 – підстава; 6 – регулювальний гвинт; 7 – стрілки свідчення дисбалансу лопаток

Після налаштування вагів на місце еталонної лопатки встановлюють серійну лопатку і визначають відхилення її вагового моменту від вагового моменту еталонної лопатки.

Показники стрілки ліворуч від 0 фіксують зі знаком «мінус», а праворуч – зі знаком «плюс».

Як еталонна лопатка може бути використана серійна лопатка, вага якої лопатки близької до номінального значення для даного ступеня. Так, наприклад, у двигуні РД-3М-500 як еталонна лопатка для першого ступеня турбіни може використовуватися лопатка вагою 380 ± 5 г, а для другого ступеня – лопатка вагою 360 ± 5 г. Для ротора турбіни двигуна АІ-20 як еталонні лопатки можна використовувати серійні лопатки з такою вагою:

перший ступінь	130 ± 1 г,
другий ступінь	180 ± 2 г,
третій ступінь	230 ± 3 г.

Подальша робота за визначенням вагових моментів лопаток аналогічна роботі на звичайних технічних вагах. Для зручності в таблицю заносять, зазвичай, не повний ваговий момент лопатки, а його відхилення від вагового моменту еталонної лопатки.

Технологічний процес збірки ступенів (облопачування дисків) розглянемо на прикладі ротора турбіни двигуна АІ-20.

Після укомплектування дисків турбіни лопатками, їх встановлює відповідно до даних табл. 4.1.

Лопатка з найменшим ваговим моментом у даному комплекті ставиться в паз № 1 і їй надається також № 1.

Наступна лопатка, близька за величиною вагового моменту до лопатки № 1, ставиться в діаметрально протилежний паз: № 36 – для диска I ступеня; № 21 – для диска II ступеня; № 19 – для диска III ступеня.

Таблиця 4.1

Вагові моменти II ступеня турбіни двигуна ГТД

№ з/п	Номер лопаток	Ваговий момент лопаток	Номер паза диску турбіни
1			
2			
3			
4			
5			
...			

У паз № 2 ставиться лопатка з найбільшим ваговим моментом. Наступна лопатка, близька за величиною вагового моменту до лопатки № 2, ставиться в діаметрально протилежний паз: - № 37 – для диска I ступеня, в паз № 22– для диска II ступеня, в паз № 20 – для диска III ступеня і т.д. (легка лопатка проти легкої, важка – проти важкої).

Різниця вагових моментів лопаток, що підлягають установці в протилежні пази дисків, повинна знаходитися в заданих межах, які залежать від номінальної ваги лопаток, значення їх різні для різних типів двигунів. Так, наприклад, для ротора турбіни двигуна РД-3М-500 різниця вагових моментів лопаток, встановлених у діаметрально протилежних пазах, не повинна перевищувати 120 г·см. Максимальна різниця вагових моментів лопаток даного комплекту не повинна перевищувати 2500 г·см. Для ротора турбіни двигуна АІ-20 різниця вагових моментів лопаток у межах одного комплекту для кожного ступеня не повинна перевищувати 220 г·см.

Після такого ретельного комплектування маса лопаток при збірці рівномірно розноситься по периметру дисків (рис. 4.2), що полегшує процес урівноваження при статичному, і динамічному балансуванню.

Потім колеса I, II і III ступенів подаються на спільну збірку ротора турбіни, яка ведеться за заводською технологією, яка наявною в лабораторії.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з описом лабораторної роботи.

2. Вивчити налаштування і роботу пристосування для визначення вагового моменту лопаток.

3. Визначити вагові моменти лопаток заданих дисків і зафіксувати їх у відповідних таблицях

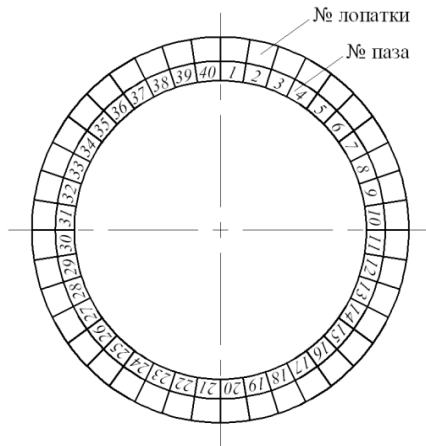


Рис. 4.2. Кругова таблиця вагових моментів лопаток ГТД.

4. Встановити лопатки в пази дисків за методикою, викладеною в описі роботи.

5. Ознайомитися із заводською технологією збирання I, II або III ступеня (за вказівкою викладача) і збирання ротора турбіни двигуна AI-20.

Звіт

Звіт повинен містити ескіз диска турбіни, таблицю вагових моментів турбіни двигуна ГТД, розташування лопаток турбіни ГТД згідно з правилами збирання, висновки.

Лабораторна робота № 5

ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ГТУ І КОМПРЕСОРИВ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета роботи – визначення робочих параметрів пар тертя в процесі зношування основних видів зносу деталей ГТУ і компресорів.

Завдання

1. Визначити види зношування деталей ГТУ і компресорів.
2. Оформити звіт по лабораторній роботі.

Теоретична частина

В підвищенні надійності роботи авіаційної техніки та збільшення термінів її служби важливе місце займають питання зносостійкості деталей. Відомо, що в процесі експлуатації відбувається інтенсивний знос деталей пар тертя в результаті високих навантажень, швидкостей та температур, впливу агресивних середовищ та вібрацій.

Класифікація видів зруйнування поверхонь тертя ведуть за фізико-хімічними процесами, які відбуваються в зоні контакту структур. Схема класифікації видів зношування наведена на рис. 5.1.

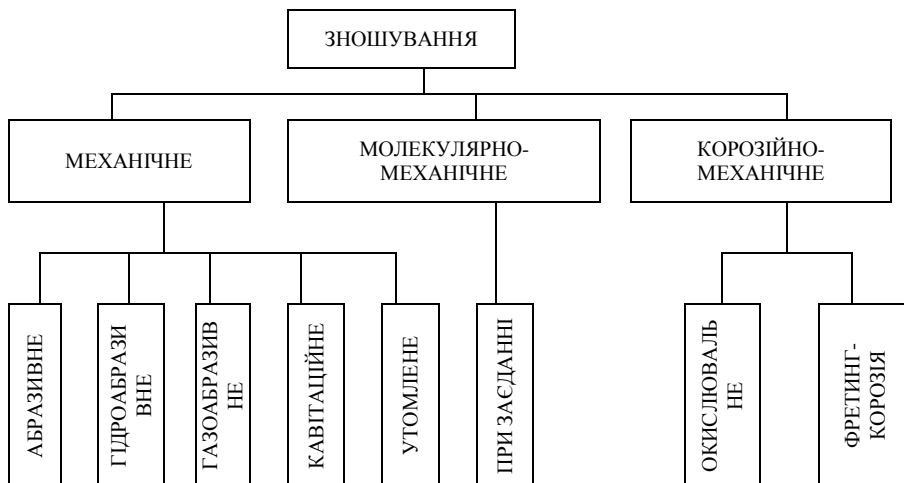


Рис. 5.1. Види зношування в машинах

Корозійно-механічне зношування характеризується двома видами: окислювальним та фретінг-корозією.

Окислювальне зношування – це процес поступового руйнування поверхонь деталей або зразків при терті, що викликані взаємодією активних пластично деформованих поверхневих шарів металу з атомами кисню, який міститься у повітрі або в мастилi та адсорбується на поверхнях. Окислювальний знос виявляється в утворенні хімічно адсорбованих плівок, плівок твердих розчинів та хімічних з'єднань металу з киснем їх руйнування та видалення з поверхонь тертя. Це стаціонарний процес динамічної рівноваги руйнування та відновлення окисних плівок.

Окислювальний знос реалізується при нормальних умовах експлуатації і характеризується допустимими параметрами тертя та забезпеченням надійної роботи пар тертя.

Фретінг-корозія – це корозійно-механічне зношування поверхонь, що стискаються, при малих переміщеннях. Специфіка пошкоджень деталей при фретінг-корозії дозволяє виділити цей процес в особливий вид поверхневого зруйнування, умови виникнення та розвитку якого мають низку характерних особливостей, які проходять три основні етапи:

- 1) процес механічного зруйнування і окислення поверхонь;
- 2) дія механічного фактору з наступним окисленням часток, що відокремились;
- 3) накопичення в металі пошкоджуваності від втоми.

Молекулярно-механічне зношування характеризується зношуванням при зчепленні. В результаті глибинного виривання металу поверхонь та переносу його з однієї поверхні на другу, внаслідок молекулярного з'єднання часток поверхні, що вириваються.

В залежності від причин, які викликають зношування при заїданні розділяють: зчеплення першого та другого роду.

Зчеплення першого роду викликає при терті ковзання з малими швидкостями відносного переміщення та відносними тисками, що перевищують границю текучості на ділянці фактичного контакту при відсутності поділяючого шару мастила та захисної плівки окислів. Це найбільше небезпечний та різко виражений вид пошкодження деталей.

Зчеплення другого роду – процес неприпустимої пошкоджуваності поверхонь тертя, що характеризується утворенням місцевих металевих зв'язків, їх деформацію та зруйнуванням, який виражається в утворенні тріщин, перекосі металу та видаленні часток з поверхонь тертя. При зчепленні другого роду відбувається інтенсивне нагрівання, розм'якшення та деформація ювенільних поверхонь.

Механічне зношування поділяють на декілька видів.

Абразивне зношування – зношування матеріалу в результаті ріжучої або дряпаючої дії твердих часток, якими є продукти зношування або сторонні частки, які попадають на поверхні тертя. Абразивні процеси можуть виникати в широкому діапазоні зовнішніх впливаючих факторів. Поява механохімічної або механічної форми цього виду зруйнування залежить від співвідношення механічних властивостей абразивних часток та поверхневих шарів металу, що зношується.

Гідроабразивне зношування – зношування в результаті дії твердих тіл або часток, які несе потік рідини.

Газоабразивне зношування – зношування в результаті дії твердих тіл або часток, які несе потік газу або повітря.

Кавітаційне зношування – зношування поверхні при відносному русі абразивних часток в рідині в умовах кавітації.

Зношування від втоми – зношування поверхні тертя або окремих її ділянок в результаті пластичного деформування мікрооб'ємів матеріалу, що призводить до виникнення тріщин та видалення часток.

Основні характеристики та розвиток пошкоджень від втоми визначається накопиченням незворотніх явищ в структурі металу, що викликані зміцненням металу поверхневих шарів, виникненням залишкових напружень. Зруйнування поверхонь при контактних пошкодженнях від втоми характеризується виникненням мікротріщин, скалуванням одиничних та групових об'ємів металу на поверхні тертя.

Пошкодження від втоми найбільш характерно та часто зустрічається на деталях підшипників кочення, зубчатих колесах, в парах ролик-шайба та інших вузлах тертя, які сприймають контактні навантаження.

Порядок виконання роботи

1. Отримати декілька деталей від викладача.
2. Визначити вид зношування та причину зносу.
3. Оформити звіт.

Звіт

Звіт повинен містити ескіз деталі, умови праці деталі, перелік пошкоджень та їх розмір, висновки.

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ ГТУ

Мета роботи – ознайомитись з особливостями технологічного процесу визначення технічного стану деталей АТ(авіаційної техніки).

Завдання

1. Визначити технічний стан деталей роз'ємного з'єднання з використанням технічних засобів вимірювання (ТЗВ). Деталі для визначення та ТЗВ видає викладач.
2. Заповнити карту дефектації (видає викладач).
3. Визначити метод відновлення деталі в залежності від її стану.

Теоретична частина

Повітряні судна та авіаційні двигуни конструктивно складаються із окремих агрегатів. Сучасні агрегати АТ складаються з окремих деталей, які з'єднуються в вузли, утворюючи роз'ємні та нероз'ємні з'єднання.

Всі деталі роз'ємних з'єднань, маючи можливість взаємного переміщення (ковзання або кочення) в процесі експлуатації АТ зношуються, міняючи при цьому розміри та форму робочих поверхонь. Зношування робочих поверхонь спряжених деталей у кінцевому результаті приводить до змін їх номінальних розмірів (заданих конструктором). Це проявляється у зменшенні діаметрів болтів, вісей, валиків та подібних деталей. Одночасно збільшуються отвори відповідних спряжених деталей. Крім цього на робочих поверхнях деталей роз'ємних з'єднань у процесі експлуатації виникають дефекти: тріщини, задіри, забоїни, подряпини, корозія, пошкодження різи, деформація та інше.

Наявність дефектів на деталях роз'ємних з'єднань виявляють в

процесі визначення їх технічного стану (дефектації). Це проводиться зовнішнім оглядом, використанням технічних засобів вимірювання та неруйнівних методі контролю (НМК).

Визначення технічного стану (дефектація) є одним з етапів технологічного процесу.

Задача дефектації – оцінка працездатності деталей та вузлів для подальшої експлуатації і призначення методів усунення дефектів на деталях та вузлах.

В процесі дефектації деталі поділяють на три категорії:

- придатні для подальшої експлуатації без ремонту (справні);
- деталі, які підлягають ремонту (відновленню);
- деталі, які за своїм станом не використовують (брак).

Придатні деталі без ремонту поступають на комплектування для подальшого збору вузлів та агрегатів; деталі, які підлягають ремонту – на дільниці відновлення працездатності; деталі, які підлягають бракуванню – на утилізацію.

В практиці ремонту авіаційної техніки, з метою оцінки придатності до подальшої експлуатації деталей, вузлів та агрегатів (дефектації) широке застосування знаходять технічні засоби вимірювань (ТЗВ), які дають можливість визначити відповідність робочих параметрів, які задаються конструктором.

Регламентуючими документами при оцінці технічного стану деталей авіаційної техніки є спеціальні таблиці зазорів та натягів, альбоми зчленувань та ремонтних допусків інші технічні документи, які є керівними для прийняття рішення про придатність або непридатність деталей для подальшої експлуатації. Під час дефектації призначають відповідні технологічні операції для відновлення працездатності деталей, визначають причини бракуванню деталей, які вийшли за межі допуску.

При ремонті АТ найбільше поширення отримали універсальні вимірювальні прилади та інструменти. За принципом дії вони поділяються на декілька видів:

1. Механічні прилади: мікрометри, індикаторні внутрішньоміри, важильно-механічні, ричажні і т.п.;

2. Оптико-механічні (мініметри, оптиметри);

3. Оптичні мікроскопи, проектори;

4. Пневматичні прилади;

5. Електро-механічні прилади;

6. Проектори.

Ці прилади дозволяють виміряти лінійні розміри деталей з

точністю до 10 мкм. При вимірах широко практикується ви-явлення явно виражених дефектів:

а) забоїн, заусениць, задрів, шорсткостей та інших механічних пошкоджень поверхонь деталей;

б) тріщин, викришування матеріалу, пошкодження різи, зносу, випрацьовування та наклепу на поверхнях зчленованих деталей;

в) короблення деталей, зміна форми;

г) корозії на деталях.

Використання ТЗВ проводять з метою перевірки геометричних розмірів, відповідності геометричних форм, деталей та посадок, які задані технічними умовами. При вимірах визначають стан поверхонь деталей. Вони повинні бути чистими і не мати рисок, наклепів, заусениць, наволокування металу, корозії та інших пошкоджень, які можуть вплинути на результати обміру.

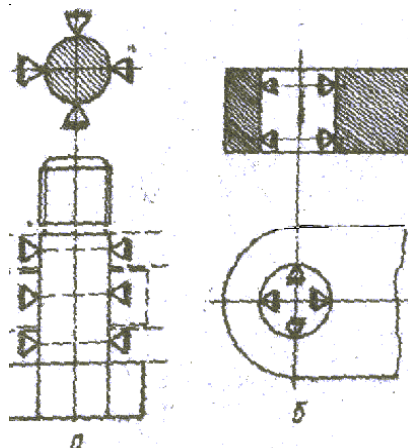


Рис. 6.1. Схема вимірювання деталей роз'ємного з'єднання

Вимірювання проводять тільки справними засобами технічних вимірювань.

Робочі поверхні деталей вимірюють за всією їх довжиною і в декількох перетинах (не менше ніж у двох) взаємно перпендикулярних напрямках з визначенням максимального та мінімального розміру (рис.6.1).

Карта дефектації та ремонту деталей ПС або АД, складається для рекомендованої викладачем деталі та заповнюється (табл. 6.1)

Таблиця 6.1

Карта дефектації та ремонту агрегату

Найменування вузла або деталі	Характер пошкодження або несправності	Метод визначення	Засіб усунення
1	2	3	4

При складанні табл. 6.1 в неї заносять дефекти для конкретної деталі або вузла. Дефекти вносять в колонку 2. Рекомендований метод визначення дефекту вносять в колонку 3. Засіб усунення – в

колонку 4.

Порядок виконання роботи

1. Визначити величину та відхилення від номінальних розмірів деталі ГТУ.
2. Обчислити відхилення від номінального розміру деталі.
3. Оформити звіт.

Звіт

Звіт повинен містити ескіз деталі та схему обміру деталі ГТУ, таблицю дефектації та ремонту деталі, розрахунки відхилення розмірів деталей від номіналу.

Лабораторна робота 7

МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ГТУ І КОМПРЕСОРІВ

Мета роботи – розробити технологічний процес відновлення працездатності деталі.

Завдання

1. Ознайомитись з конструкцією деталі ГТУ (видає викладач).
2. Заповнити карту відновлення деталі ГТУ.
3. За даними фактичного розміру деталей визначити їх “Ремонтний розмір”.
4. Провести визначення технічного стану рекомендованої деталі або вузла з виростанням технічних та оптичних засобів контролю.
5. Оформити звіт по лабораторній роботі.

Теоретична частина

Виявлені дефекти окремих деталей, вузлів та агрегатів АТ поділяють на допустимі та недопустимі. Деталі, які мають допустимі дефекти підлягають відновленню їх працездатності. А ті що мають недопустимі дефекти – відбраковуються.

Відновлення працездатності деталей визначається відповідним технологічним процесом. В залежності від наявності дефекту використовують ті чи інші технологічні процеси відновлення.

Найбільш поширеним методом відновлення зношених деталей є механічна обробка деталей з метою відновлення форми та розмірів деталей. Цим методом, в основному, відновлюються пари роз’ємних з’єднань “Вал-отвір”. При цьому відновлюються форма, розмір та якість поверхні спряжених деталей.

В залежності від величини зносу та геометрії поверхні відновлюваної деталі практикують два різновиди відновлення працездатності.

Першим різновидом є надання деталям так званих ремонтних розмірів. До другого відносять надання деталям початкових розмірів (номінальних), які задані конструктором.

У першому випадку деталі підлягають механічній юбробці (шліфування, хонінгування, притирання, полірування). При цьому робочі поверхні деталей отримують правильну геометричну форму та новий розмір (ремонтний), який відрізняється за своїм розміром від номінального.

Відновлення початкових розмірів деталей проводиться нанесенням покриттів на зношену поверхню різними методами: гальванічним, газотермічним, електричним та ін.

Ремонтні розміри деталей необхідно досягати мінімальною зміною розміру деталі, що дає можливість використовувати її декілька раз.

Зміна розміру кожної такої деталі визначається так званим "Ремонтним допуском", який визначається конструктором. Для деталей основних роз'ємних з'єднань АТ "Ремонтний допуск" має величину $\Delta=0,2 - 1\text{мм}$. Структурна схема отриманого першого та другого ремонтного розміру отвору показана на рис.7.1

Для збільшення загального терміну служби деталей роз'ємних з'єднань при кожному послідовному ремонті знімають як можливо менший шар металу, умовно названий (припуском на обробку δ_2).

Величина припуску на обробку (δ_2) повинна враховувати величину зносу та форму поверхні (овал, конусність, корозія та інші).

Відповідно до рис.1 величина ремонтного допуску на розмір отвору дорівнює:

$$\Delta=d_{\text{max}} - d,$$

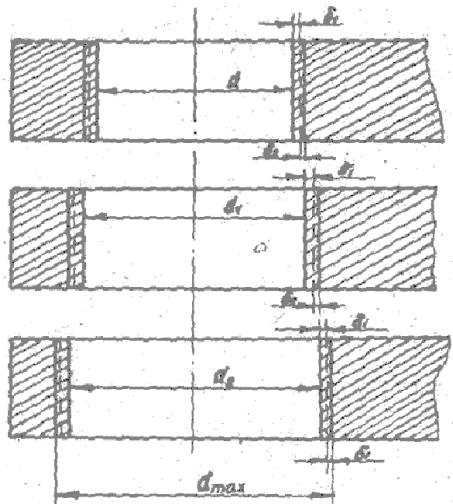


Рис. 7.1. Визначення ремонтного розміру деталей

де Δ – ремонтний допуск, d_{\max} – максимально допустимий розмір отвору, d – номінальний розмір отвору (заданий конструктором).

Перший ремонтний розмір отвору дорівнює:

$$d_1 = d + 2(\delta_1 + \delta_2),$$

де δ_1 – величина зносу, δ_2 – припуск на обробку. Величина $2(\delta_1 + \delta_2)$ називається ремонтним інтервалом, який умовно може визначати кількість ремонтів.

Відновлення міцносних властивостей деталей у кожному окремому випадку носить суто індивідуальний характер і залежить від стану деталі та об'єктивності результатів контролю. Характерними методами усунення та попередження дефектів втрати міцності є відновлення зварюванням, шліфуванням та поліруванням поверхні, поверхнево-пластичним деформуванням, хіміко-термічним та лазерним зміцненням поверхні та ін.

В процесі експлуатації змінюються фізико-хімічні характеристики матеріалу деталей, що обумовлено дією зовнішніх навантажень, термічними пошкодженнями від контактних взаємодій сполучених пар. Фізико-механічна природа впливу зовнішніх факторів на робочі характеристики деталей достатньо складна і потребує знань фізичних закономірностей процесів, що протікають, та їх наслідків. Їх глибоке розуміння дозволяє правильно оцінити ступінь пошкодження, визначити втрату працездатності та придатність до подальшої експлуатації. Правильність оцінки можливості подальшого використання деталей або необхідності їх бракування впливає на економічну доцільність та ефективність ремонту.

Відновлення шорсткості поверхонь та якості поверхневого шару.

На деталях, що працюють у повітряному тракті, які піддаються ударам абразивних часток, з'являються дефекти у вигляді забоїн, подряпин, місцевих заглиблень, які знижують якість поверхні. Порушення шорсткості та зміни в поверхневих шарах знижують міцність деталей. При усуненні вказаних дефектів необхідно відновлювати шорсткість поверхні та поверхневого шару. Це досягається видаленням поверхневих шарів певної товщини металу з дотриманням вимог до форми та розмірів поверхонь.

Відновлення захисних покриттів. Для захисту від корозії на деталі наносять спеціальні металеві, полімерні, лакофарбові та окисні покриття. В процесі роботи вони поступово руйнуються, що виникає появу корозії.

Відновлення покриттів відбувається нанесенням нових різними засобами: хімічним, травленням, електрохімічним методом, а також нанесенням захисних лакофарбових покриттів.

Відновлення обробкою різанням. Обробка здійснюється вручну (слюсарна обробка) або на металорізальних (токарних, шліфувальних, полірувальних) станках (механічна обробка).

Відновлення металопокриттям. При ремонті деталей АТ головним чином використовують гальванічні та газотермічні та електричні методи, які забезпечують відновлення розмірів зношених поверхонь, антикорозійних та декоративних покриттів.

Для відновлення розмірів зношених поверхонь сталевих деталей використовують переважно хромування та міднення, які запобігають зчепленню при контактуванні поверхонь. Для захисту деталей від корозії використовують кадмування та цинкування.

Широке розповсюдження отримали газотермічні методи нанесення покриттів (газополум'яний, плазмовий, детонаційний, електродуговий, індукційний). Перевага цих методів в порівнянні з електричними полягає в тому, що вони дозволяють варіювати в широких межах склад покриттів, що налічуються, їх товщу та фізико-механічні властивості.

Відновлення розмірів та форми обробкою тиском. При ремонті двигунної установки використовують холодну правку тонкостінних деталей та конструкцій (зокрема, правці піддається вихлопний патрубок). При правці відбувається зміцнення металу типу нанесення на нагартування. Виникають залишкові напруження. Тому правці можна піддавати лише ті деталі, які не несуть великих змінних навантажень і тому не схильні до прояву тріщин від втоми. Розрізняють два види правки: статичним вигином та ударами.

Відновлення зварюванням. Процес використовують головним чином для відновлення працездатності зварних швів, в яких утворились тріщини від дії змінних навантажень. Прикладом може служити зварювання зварних швів камери згоряння.

Одним з видів відновлення зварюванням є відновлення наплавкою. Наплавка використовується для відновлення розмірів та форми поверхонь, що відновлюються. Наплавку можна виконати з використанням газополум'яного, електродугового, плазмового та лазерного методів розплавлення металу.

Відновлення неметалевих покриттів. Поверхні деталей з алюмінієвих та магнієвих сплавів піддають анодуванню (оксидуванню) в цілях захисту від корозії. Після оксидування деякі з цих деталей для підвищення захисту від корозії покривають

лакофарбовими покриттями. При порушенні цих покриттів їх відновлюють у відповідності з призначеною технологією.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з описом лабораторної роботи.
2. Заповнити карту відновлення деталі ГТУ За даними фактичного розміру деталі та визначити їх “Ремонтний розмір”
3. Оформити звіт по лабораторній роботі.

Звіт

Звіт повинен містити ескіз деталі, карту дефектації, розрахунки ремонтного розміру, висновки.

Лабораторна робота 8

РЕМОНТ РІЗЬБОВИХ З’ЄДНАНЬ ТА ЗАМІНА ШПИЛЬОК

Мета роботи – засвоїти технологію заміни шпильок при ремонті авіаційної техніки.

Завдання

1. Провести дефектацію шпильок.
2. Видалити відбраковану шпильку.
3. Провести підбір нової шпильки.
4. Підготувати отвір під шпильку, що замінюється.

Теоретична частина

Шпилькою зветься стержень, що має з обох сторін різь. Однією стороною шпилька ввертається у тіло основної деталі, а на другу наворачується гайка, що кріпить деталь. На обох сторонах шпилька має однаковий діаметр, але з різним шагом різі. Більший шаг різі роблять на тій стороні, яка ввертається в деталь. Це пояснюється тим, що більшість авіаційних деталей виготовлена з алюмінієвих сплавів і використання мілкої різі в цьому випадку не забезпечує необхідної щільності та міцності посадки. Необхідність заміни шпильок часто виникає в експлуатації та при ремонті.

Дефектація. Знос та забоїні різі шпильок визначають візуально або з використанням ТВВ. Згин та витяжку шпильок визначають за допомогою калібрів. Слабка посадка шпильки може бути ефективно визначена імпедансним акустичним контролем. Відбраковані шпильки підлягають заміні та видаленню.

Видалення шпильки. При видаленні шпильки можливі два випадки: коли шпилька виступає над поверхнею та коли не виступає. В

кожному випадку відбраковані шпильки видаляють одним з наступних способів.

1. Вивертання шпильки двома гайками. На шпильку накручують гайку, контргайку, потім, діючи ключем на гайку, вивертають шпильку.

2. Вивертання шпильки запилюванням граней. Напилком запилюють шпильку і вивертають її гайковим ключем. Якщо дві грані незручно, то на шпильці запилюють чотири грані.

3. Вивертання шпильки “солдатиком”. На шпильку, що видаляється закріплюють “солдатик” за допомогою торцевого гвинта в торець шпильки. Використовуючи ключ відповідного розміру, викручують “солдатик” разом зі шпилькою.

4. Вивертання шпильки ексцентриком.

Проводяться для шпильок діаметром від 6 до 12 мм. Конструктивно ексцентрик складається з корпусу, шайби та головки.

В корпусі просвердлено три отвори різних діаметрів для шпилек відповідного розміру. Шайба на зовнішній поверхні має насічку та загартована. Головка встановлена відносно шайби ексцентрично, внаслідок чого при обертанні головки шайба своєю насічкою врізається у шпильку та затискує її.

Спеціальний ключ встановлюють на шпильку. Потім в отвір для клина вставляють клин, який має з однієї сторони конусну ребристу поверхню. При обертанні ключа вліво, за рахунок тертя між ребристою поверхнею клина та різью шпильки остання затискується та вивертається.

5. Вивертання шпильки зажимним пристроєм використовують в легкодоступних місцях. На дефектну шпильку наворачтають пристрій, в головці якого просвердлено отвір, який має різьбу відповідного діаметру. Наявність прорізу в головці пристрою дозволяє при стягуванні її болтом створити велике тертя між головкою пристрою різью та шпильки, що гарантує вивертання шпильки.

Шпильки, які не виступають над поверхнею деталі, з якої їх необхідно видалити, користуються наступними способами:

1. Вивертання шпильки мітчиком з лівою різью. В цьому випадку мітчик ввертається у просвердлений отвір шпильки, на 0,5 довжини нарізної частини шпильки. шпилька при цьому вивертається. Мітчик виготовляють з міцної сталі та декілька притупленою різью та дає йому високу щільність при ввертанні.

2. Вивертання шпильки за допомогою болта. Замість спеціального мітчика використовують болт з лівою різью. Для цього необхідно просвердлити отвір у шпильці на 2-3 мм менше за діаметр шпильки на

0,5 довжин її нарізної частини, з таким розрахунком, щоб свердло не пошкодило різь деталі. Потім в шпильці нарізають різь, ввертають повністю болт відповідного діаметру і, продовжуючи обертати в тому ж напрямі вивертають уламок шпильки. Метод використовують рідко замість мітчика або екстрактора.

3. Вивертання шпильки квадратною стороною спеціального ключа. В обламаній частині шпильки висвердлюють отвір діаметром меншим внутрішнього діаметру різі на 2-3 мм. Потім в цей отвір забивають квадратний борідок ключа вивертають шпильку, повертаючи ключ в ліву сторону.

4. Видалення зламані шпильки за допомогою екстрактора проводять аналогічно вивертанню шпильки мітчиком з лівою різзю. У зламаній частині шпильки висвердлюють отвір відповідного діаметру, в нього вставляють екстрактор, який має конусну ліву різь і повертаючи його ключем вліво, вивертають шпильку. Розмір екстрактора повинен бути менше внутрішнього діаметра різі шпильки.

5. Видалення зламані шпильки витравлюванням азотною кислотою. До цього способу вдаються у випадках, коли використання вище згаданих методів не можливе.

Зламаної частини шпильки в корпусі деталі видаляють витравлюванням водним розчином азотної кислоти, який розчиняє сталь і не розчиняє сплави з алюмінію.

Примітка. Для визначення концентрації азотної кислоти в фарфорову чашку кладуть шматочок зламані шпильки (або подібний метал) і наливають концентровану азотну кислоту, в яку потім доливають воду, момент початку активного розчинення металу вкаже на потрібну концентрацію розчину.

Склад розчину: хімічно чиста азотна кислота 70-80%, вода 20-30%.

Видалення зламані шпильки проводять в такій послідовності. В шпильці просвердлюють отвір, діаметр якого на 2-3 мм менший за внутрішній діаметр різі шпильки. Для запобігання розтікання кислоти та зруйнуванню деталі від роз'їдання кислотою місце навколо шпильки, що витравлюється, змащують технічним вазеліном.

Гумовою піпеткою набирають виготовлений розчин азотної кислоти і заповнюють просвердлений отвір шпильки. Продукти розчину шпильки, що витравлюється, видаляють піпеткою а потім отвір знову заповнюють розчином і процес повторюють декілька раз до повного видалення шпильки. Для прискореного процесу витравлення шпильки можна підігріти розчин до температури 50-60 С і навіть до 70-80 С.

Після закінчення процесу місце травлення декілька раз промивають водою. Перевіряють кожен виток різі в деталі під шпильку кресляркою і переконатись, що там не має нерозчинених залишків шпильки і калібрують отвір мітчиком.

Не припускається витравлення азотною кислотою деталей, що виготовленні з магнієвих сплавів.

Коли процес травлення закінчується і в тілі деталі не залишається матеріалу шпильки, необхідно ще раз ретельно промити деталь водою, маючи на увазі, що слабкий розчин азотної кислоти може викликати в сплаві алюмінію корозію та пошкодити інші деталі.

6. Видалення шпилек електроіскровим способом виконується в слідуючій технологічній послідовності. В зламаний шпильці прорізають електродом шліцу у вигляді вузької щілини, а потім відкруткою вивертають шпильку. Інколи для видалення шпильки використовують електрод квадратного перерізу, яким роблять поглиблення в торці зламаної шпильки, а потім торцевим квадратним ключем вивертають шпильку.

Якщо названими способами видалити шпильку неможливо, то її тіло прошивають циліндричним електродом, діаметр якого менший за внутрішній діаметр різі шпильки. Потім залишки шпильки видаляють гострою кресляркою, отвір продувають стиснутим повітрям, різі калібрують мітчиком відповідного діаметру.

Підбір нової шпильки. Підбір шпильок проводиться за величиною середнього діаметра. Шпильки виготовляються з наперед заданими розмірами середніх діаметрів різі. Щільна посадка нормальної шпильки першої групи досягається встановленням шпильки другої групи, яка повніша за середнім діаметром різі на 0,08 мм. В подальшому, замість шпильки другої групи беруть шпильку третьої групи, яка повніша за середнім діаметром на 0,18 мм. Замість третьої групи – шпильку четвертої групи повнішу за середнім діаметром на 0,8 мм. Групи шпильок маркуються нанесенням на її торці відповідних позначок.

Правильно підібрана за натягом шпилька повинна завертатись в отвір від руки не більш на 2-3 витки.

Якщо середній діаметр шпильки невідомий його заміряють різьбовим мікрометром, або на інструментальних мікроскопах. Замір середнього діаметра на мікроскопі проводять затискаючи шпильку 1 в центрах 2, встановлюючи її паралельно повздовжньому ходу предметного стола. Нахиливши колонку 3 на кут, який дорівнює куту підйому різі шпильки, поєднують одну з суцільних ліній штрихової сітки окуляра мікроскопа із зображенням сторони профілю різьби

деталі, діючи при необхідності поперечним та подовжній мікрогвинтами. Відмітивши перший відлік за поперечним гвинтом, переміщують стіл чим же гвинтом до появи діаметрально протилежної паралельної сторони профілю різі. Нахилив колонку на тій самий кут, але в протилежну сторону, знову поєднують пунктирну лінію сітки з профілем різі і проводять другий відлік.

Різність відліків дає значення середнього діаметру різьби, виміряного по одній стороні профілю. Після цього поєднують з пунктирною лінією штирової сітки другу сторону профілю різьби і повторюють вимірювання.

Фактичним значенням середнього діаметра різі для даної шпильки є середнє арифметичне за отриманими результатами вимірювань по правій та лівій сторонам профілю.

Підготовка різі в отворі деталі, проводиться калібрувальним мітчиком, діаметр якого на 0,02-0,03мм менший за середній діаметр підбраної шпильки. Для цього проходять калібрувальним мітчиком отвір в деталі, видаляючи можливі пошкодження різі деталі.

Примітка. Коли різь пошкоджена, нарізають нову, діаметр якої на 2мм більший він зовнішнього діаметра різі шпильки, і встановлюють підбрану за середнім діаметром шпильку.

Встановлення нової шпильки. Поводиться пристроєм “солдатик”, попередньо змастивши різь шпильки, що ввертається трансформаторним мастилом.

Контроль якості встановлення шпильки здійснюється за допомогою технічних засобів вимірювання та НМК. При цьому перевіряють щільність посадки, висоту частини шпильки, що виступає, діаметр шейки шпильки та стан різі.

Категорично забороняється викручувати шпильки для отримання потрібної її висоти. В цьому випадку необхідно її замінити

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з описом лабораторної роботи.
2. Провести дефекацію шпильок та видалити відбраковану шпильку.
3. Провести підбір нової шпильки.
4. Підготувати отвір під шпильку, що замінюється.
5. Оформити звіт по лабораторній роботі.

Звіт

Звіт повинен містити короткі теоретичні відомості про шпильки, розрахунки під ремонтну шпильку, висновки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Богуслаев В. А.* Технология производства авиационных двигателей: учеб. В.А.Богуслаев, А.Я.Качан, А.И.Долгматов, В.Ф.Мозговой, Е.Я.Корневский. – Запорожье : Мотор Сич, 2005. – 557 с.
2. *Елисеев Ю.С.* Технология производства авиационных газотурбинных двигателей: учеб. Ю.С.Елисеев, А.Г.Бойцов, В.В.Крымов, Л.А.Хворостун – М : Машиностроение, 2003. – 512 с.
3. *Белошапка Н. И.* Производство летательных аппаратов и авиационных двигателей: лабораторные работы. Н. И. Белошапка, Ю.И.Луговец.– Киев: КИИГА, 1988. – 60 с.
4. *Сулима А. М.* Основы технологии производства газотурбинных двигателей: учеб. А.М.Сулима, А.А.Носков, Г.З.Серебренников. – М : Машиностроение, 1996. – 480 с.
5. *Богуслаев В. А.* Основы технологии машиностроения: учеб. В.А.Богуслаев, В.И. Цыпак, В.К.Яценко. – Запорожье : Мотор Сич, 2003. – 336 с.
6. *Кудрін А. П.* Ремонт повітряних суден і авіаційних двигунів: підруч. А.П.Кудрін, Г.М.Зайвенко, Г.А.Волосович, В.Д.Хижко – К. : НАУ, 2002. – 492 с.

Навчальне видання

**ВИРОБНИЦТВО ТА РЕМОНТ ГАЗОТУРБІННИХ
УСТАНОВОК І КОМПРЕСОРІВ**

Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки
6.050604 «Енергомашинобудування»

Укладачі:
ЗАПОРОЖЕЦЬ Володимир Васильович
ДУХОТА Олександр Іванович
ХІМКО Андрій Миколайович
ЯКОБЧУК Олександр Євгенійович
ТОКАРУК Віталій Володимирович

Технічний редактор
Коректор І.М. Вихованець

Підп. до друку 00.01.07. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 3,44. Обл.-вид. арк. 3,5.
Тираж 250 пр. Замовлення № 000-0. Вид. № 77/III.

Видавництво НАУ
03680, Київ-680, просп. Космонавта Комарова, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від
05.07.2002.