

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

В.О.Румбешта

**ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ,
РЕГУЛЮВАННЯ ТА
ВИПРОБУВАННЯ ПРИЛАДІВ**

Затверджено Міністерством освіти і науки
України як підручник
для студентів приладобудівних спеціальностей

Київ НТУУ „КПІ”

2013

Технологія складання, регулювання та випробування приладів.

Підручник/ В.О. Румбешта. –К.; с. 360,

іл. 159, табл. 19

У запропонованому підручнику розглядаються основні принципи сучасної організації складальних робіт, методи забезпечення надійності та розмірної і параметричної точності приладів, що виробляються. Описуються сучасні технологічні складальні процеси механічних, електричних, мікроелектронних і оптичних елементів приладів та їх регулювання, контролю і випробувань.

Призначений для студентів усіх приладобудівних спеціальностей, а також для аспірантів та інженерно-технічних працівників, які працюють у галузі приладобудування та точного машинобудування.

Іл.. Бібліогр. назв.

Відповідальний редактор д.т.н., професор Тимчик Г.С.

Рецензенти: д.т.н., професор Зенкин А.С.

д.т.н., професор Себко В.П.

д.т.н., професор Лупкин Б.В.

ISBN 5-7763-2241-3

Інститут системних досліджень

Освіти України, 2013

Передмова

Сучасний науково-технічний розвиток промисловості зумовлює інтенсифікацію всього суспільного виробництва, у тому числі й приладобудування, як однієї з його головних складових. Ступінь розвитку проектування та виробництва приладів визначає в основному технічний рівень і ефективність розвитку багатьох галузей промисловості, науки та всього господарства будь-якої країни.

Найважливішим і відповідальним етапом виробництва приладів є їх складання, регулювання та випробування. Приладобудування є специфічною галуззю промисловості, яка зосереджує найпрогресивніші напрямки розвитку точного машинобудування, електротехніки, електроніки, оптики, радіофізики, автоматики тощо. При цьому особлива увага приділяється питанням точності виготовлення виробів, їх високої надійності в роботі на об'єктах. Водночас сучасні прилади є дуже складними та тонкими конструкціями, які містять велику кількість точних, але мало жорстких кінематичних вузлів, електричних або електронних кіл, оптичних або оптико-електронних елементів та ланок, що працюють в єдиному багатофункціональному взаємозв'язку. Забезпечити високу точність і стабільність вихідних характеристик таких складних пристроїв можна тільки за рахунок особливої організації складального виробництва та застосування великої кількості різноманітних складально-регулювальних, контрольно-вимірювальних і випробувальних процесів.

Наука про технологію приладобудування розроблює нові сучасні і прогресивні методи складання приладів. Значний внесок у цю науку зробили вітчизняні вчені А.М.Гаврилов, П.І.Буловський, , І.А.Лебедев, О.М.Бородін, Пасечнік В.П. та ін., а також численні колективи співробітників навчальних та науково-дослідних інститутів та організацій.

У підручнику подано основні сучасні принципи організації складальних робіт, методи забезпечення точності та надійності приладів, регулювання, налагодження, доводки та випробувань для забезпечення їх якості, описано основні технологічні

процеси, характерні для приладобудування.

Запропонований матеріал є кінцевим розділом курсу “Технологія приладобудування” і розрахований на самостійну підготовку студентів приладобудівних спеціальностей, знайомих із будовою приладів. Підручник буде також корисний інженерно-технічним працівникам, які працюють в приладобудуванні.

Розділ 1. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СКЛАДАННЯ ПРИЛАДІВ

Глава 1. ОРГАНІЗАЦІЯ СКЛАДАННЯ ПРИЛАДІВ

1.1. Складальний процес у приладобудуванні

1.1.1. Особливості складання приладів

Процес складання є кінцевим етапом виготовлення виробів. У приладобудуванні через особливу його специфіку складання є основним і найбільш трудомістким виробничим процесом, який визначає якість продукції, що випускає завод-виготовлювач.

Прилади - це пристрої інформаційно-метрологічного призначення за допомогою яких одержують необхідну інформацію про всі характеристики будь-яких об'єктів, що цікавлять людину, у життєдіяльності людей. Тільки за допомогою приладів можливо пізнати навколишню природу, техніку, біологічне середовище, життєдіяльність організмів і т.д.

Головна характеристика якості приладів - їхня якісна інформація. Вона визначається такими показниками:

1. Функціональними можливостями приладу.
2. Точністю його роботи.
3. Надійністю забезпечення високої точності роботи на весь ресурс.
4. Вірогідність інформації за часом.
5. Зручністю одержання та індикації за часом.

Від точності та надійності роботи приладів залежить якість всіх проведених людиною вимірювально-управлінських процедур у всіх сферах його діяльності.

Як показала практика, приладобудування має дуже високу складність виробництва через свої особливості. Воно займає проміжне положення між

машинобудуванням і радіоелектронікою і містить у собі суміш технологій точного машинобудування, електротехніки, радіоелектроніки, мікропроцесорної і обчислювально-цифрової техніки. До того ж приладобудування має свої особливості та специфіку.

1. Дуже великий спектр номенклатури приладів. Вони застосовуються абсолютно у всіх сферах діяльності людини: науці, техніці, медицині, природознавстві, екології, енергетиці тощо та для автоматизації керування всілякими процесами, об'єктами, зв'язком; збирання та аналізу необхідної інформації тощо. І кожна така галузь застосування приладів має своє певне обличчя та специфіку, що вимагають різні конструктивні та технічні рішення, які визначають технічні особливості оснащення кожного виробництва.
2. Часта і швидка зміна виробів, що випускаються, у приладобудуванні, обумовлена швидким «моральним старінням» характеристик приладів та їх конкурентно-можливою кон'юнктурністю на ринку збуту. Якщо в машинобудуванні термін служби виробу та його достатня кон'юнктурність визначається 6-10 роками, то в приладобудуванні він становить 1-3 роки. Це визначає спрямованість побудови виробництва в приладобудуванні на гарну його універсальність і обмеження типу виробництва - на малосерійність випуску, крім широкомасштабного для товарів широкого вжитку.
3. Високі вимоги до точності та надійності роботи приладів вимагають введення великого числа пригоночних і регульовально-налагоджувальних операцій, контрольно-перевірочних процедур і значно розширених і докладних випробувань для всіх 100% виробів, що випускаються. Це вимагає значних додаткових робочих площ виробництва та різкого збільшення трудомісткості виготовлення приладів, де складання виробів займає 70-80% від усього виробничого циклу їх виготовлення, у той час як у машинобудуванні вона займає 20-30%.
4. До цих особливостей відноситься дуже різноманітний асортимент використовуваних у приладобудуванні матеріалів (металів, кераміки, пластмас) з великим спектром фізико-хімічних параметрів і процесів, що вимагають широкого застосування для їхньої перевірки різного

технологічного встаткування і приладів, що значно ускладнює складальний процес і потребує висококваліфікований персонал складальників-операторів. Все це значно збільшує цикл випуску виробів і здорожує виробництво.

5. Вимоги до дотримання високої стерильності складання та випробних процесів при звичайно поганій зовнішній екології навколишнього середовища на приладобудівних заводах, що відчутно впливають на якість цих процесів, змушує застосовувати в приладобудуванні особливу організацію складальних цехів і ділянок по їхній герметизації від зовнішніх впливів і введенні великої кількості промивних процесів.

Усі перелічені особливості складання приладів, особливо його висока складність, трудомісткість і насиченість додатковою технологічною контрольно-вимірною апаратурою, різко здорожують виробництво та підвищують собівартість виробів. Основним шляхом її зниження і поліпшення інших техніко-економічних показників є інтенсифікація всіх основних виробничих процесів на базі застосування прогресивних сучасних методів праці та організаційних форм складання, а також повної автоматизації найбільш трудомістких технологічних операцій і високого рівня необхідних технічних знань.

1.1.2. Основні уявлення про складання

Згідно з ГОСТ 2.101-80 під складанням будь-якого виробу розуміють технологічні процеси з'єднання окремих його елементів у певній послідовності в складальні одиниці та цілі пристрої. До складання належать також операції регулювання вузлів або виробів, їх налагоджування та випробовування. Послідовність складання або певна послідовність з'єднання елементів визначається технічними вимогами та економічною діяльністю процесу.

У процесі складання отримують багато різновидів з'єднань окремих елементів або цілих вузлів. Характер з'єднання визначається умовами роботи елементів у складальній одиниці або в приладі. З цього погляду з'єднання бувають рухомими та нерухомими. Коли з'єднання рухомі, то елементи переміщуються відносно один одного під час роботи виробу, а коли нерухомі - вони не мають свободи

переміщення. Нерухомі з'єднання в процесі складання приладів отримуються значно частіше і поділяються на рознімні та не рознімні.

Нерухомі рознімні з'єднання характеризуються значною жаркістю з'єднання елементів, що утворюють при цьому одну спільну жорстку конструкцію в приладі, але яку водночас можна багаторазово розбирати та знову складати. За приклад таких з'єднань можуть правити гвинтові або нарізні спряження деталей.

Нерухомі не рознімні з'єднання деталей утворюються під час складання різними складальними процесами (зварюванням, паянням, пресуванням тощо) і становлять єдину нерозбірну конструкцію, точність якої визначається методом з'єднання. Процеси отримання всіх цих з'єднань докладно описані далі.

За своїм кінцевим результатом складальний процес будь-якого пристрою полягає у з'єднанні його окремих елементів у суворо визначеному положенні відносно один одного з дотриманням чіткої просторової взаємної координації та розмірного взаємозв'язку. Таке визначене взаємне положення елементів виробу задається відповідною кінематичною схемою приладу і забезпечується попереднім отриманням (виготовленням) на деталях точних установочних поверхонь спряження або стикування за розмірами, що дає змогу визначити в процесі складання необхідний просторовий розмірний ланцюг і потрібне взаємне розміщення з'єднуваних деталей.

Згідно з ГОСТ 21495-76 такі установочні координуючі (або орієнтуючі) поверхні називаються складальними базами. Окрім поверхонь складальними базами можуть бути геометричні осі або точки деталей, або ціла сукупність цих елементів. Так, на гіроскопічній рамі карданного підвісу гіроприладу складальними базами є чотири посадочні точні отвори, розміщені на двох взаємно перпендикулярних осях, що перетинаються, точка перетину яких також є складальною базою. У процесі складання в ній має розміститись центр мас гіроротора.

Кількість складальних баз на різних деталях не однакова. На простих деталях їх незначна кількість, може бути навіть одна, а на складних деталях їх багато. Такі деталі називають несучими, або базовими. До них належать корпуси приладів або каркаси та кронштейни. Базовими деталями можуть бути складні фланці, панелі, плати тощо. Сукупністю установочних (або базових) елементів таких деталей

визначається кінематична схема вузла або пристрою.

Складаючи оптичні прилади, потрібно строго орієнтувати оптику за оптичною віссю або розміщувати її у фокальній площині, або в точці фокуса (в точці перетину світлових променів). У цьому разі складальними базами є умовні геометричні елементи: вісь, площина, точка, які не видно неозброєним оком, а відшукуються вони лише за допомогою додаткових оптичних пристроїв.

Із прикладів випливає, що функції складальних баз різні. Оптична вісь, точка фокуса або точка перетину осей у гіроскопічній рамі карданом підвісу є лише орієнтуючими базами. Точні посадочні отвори в корпусі або у втулці під вісь або шарикопідшипник окрім орієнтуючих мають також установочні, напрямні функції. Опорні торці, отвори під запресування тощо крім орієнтації та установки (фіксації) служать також для кріплення (силового з'єднання).

Технологічний процес складання приладів характеризується значною різноманітністю складальних робіт. Суто складальних, тобто орієнтувально - з'єднувальних, робіт може бути менше, ніж тих, які забезпечують задану точність приладу та надійність його роботи. Усі виконувані в процесі складання приладів роботи можна віднести до таких основних класів.

1. Підготовчі та допоміжні, такі як комплектувальні, промивальні, сортувальні, пакувальні, розмічально - розкроювальні та ін. До таких робіт належать і процеси просочування, сушіння, змащування, покриття лаками, нанесення герметика, зачищення кінців, знежирювання тощо.
2. Прості складально - з'єднувальні роботи з установленням, набору, вдягання, установлення, закручування, згвинчування, контрування та ін.
3. Процеси отримання не рознімних з'єднань: пресування, клепання, розвальцьовування, зварювання, паяння, склеювання тощо.
4. Намотувальні, електромонтажні роботи, та отримання інтегральних електронних схем.
5. Слюсарно-припасовувальні та доводочні роботи.
6. Регульовально-налагоджувальні роботи з доведенням різних характеристик вузлів і цілих приладів, юстирування оптичних елементів, балансування обертових елементів та ін.

7. Контрольно-вимірювальні роботи під час вхідного, операційного, між операційного та остаточного контролю різноманітних вхідних і вихідних характеристик деталей, складальних одиниць і приладів.
8. Опробувально - перевірні роботи з вимірюванням основних робочих характеристик і надійної роботи приладів.

Залежно від конструктивної складності приладів, точності їх виготовлення та необхідної надійності роботи на об'єктах питома вага кожного різновиду робіт різна. Із зростанням складності точності та вимог надійності трудомісткість різновидів процесів зростає за рахунок збільшення останніх різновидів робіт.

1.2. Основні елементи складання

Основним об'єктом виготовлення будь-якого приладобудівного виробництва є різноманітні прилади. За встановленою ГОСТ 2.101-80 номенклатурою всі прилади, які виходять з виробництва, з відповідними додатковими допоміжними пристроями називають виробами.

Виріб - предмет виробництва, основна його продукція, яка випускається у строгій відповідності до затвердженого плану, призначена до планової поставки та реалізації. Виробами називають також продукцію-прилади та різноманітні пристрої, які випускаються для внутрішнього використання на даному підприємстві у вигляді технологічного устаткування. Якщо виріб дуже складний, із складними окремими пристроями, які входять до єдиної системи, то їх називають комплексами.

Комплекс - це пристрій, що складається з двох або більше специфікованих окремих виробів, не з'єднаних на виробництві; ці частини пристрою призначені для використання єдиного завдання і входять до єдиної системи контролю або керування. Наприклад, перший комплекс - пристрій реєстрації сигналу та його первинного перетворення; другий комплекс - аналоговий пристрій вторинного перетворення та аналізу сигналу, визначення необхідної керуючої програми; третій комплекс - пристрій обробки керуючої програми. Ці пристрої проходять весь технологічний виробничий процес окремо. Стикуватись у єдину систему такі комплекси будуть у момент установлення на об'єктах експлуатації.

Кожний виріб або його окремий комплекс складається з простіших елементів і частин.

Складальна одиниця - це окрема функціональна частина виробу, отримана складальними операціями з простіших елементів, яка підлягає згодом стикуванню в єдиний прилад на даному підприємстві. Це основні структурні одиниці складання, одержувані за своїми окремими технологічними процесами у вигляді незавершеного виробництва, що характеризуються певним функціональним призначенням у конструкції приладу. При цьому прості за складом складальні одиниці (ск. од.) можуть об'єднуватись у процесі складання в складніші структурні пристрої, тобто переходити від нижчих ступенів шляхом об'єднання до вищих ступенів складання. Складальні одиниці складають із окремих деталей.

Деталь - це первинна частина виробу, виготовлена єдиним суцільним елементом без застосування складальних операцій. Це нижча структурна одиниця складання, важлива і значуща в найдокладнішій специфікації виробу. Наприклад: корпус, плата, вал, шпонка, обойма, втулка тощо. У загальній номенклатурі структурних найменувань уведено додаткове поняття комплект.

Комплект - це додаткові, не з'єднані з основним виробом окремі елементи, які мають допоміжний характер і входять у перелік обов'язкового постачання підприємством-виробником. Наприклад, це різноманітні перехідники, штепсельні з'єднання з кабелями, стабілізатори або інші перетворювачі, індикатори, блоки живлення, контрольно-налагоджувальні пристрої для експлуатації приладів та їх періодичної перевірки, запасні елементи.

До основних елементів складання належать також застосовувані в приладах різні матеріали, які використовують в процесі складання. Це різноманітна ізоляція, конденсаторний папір для обмотування елементів, ущільнювачі, мастила, клеї, припої, лаки тощо. Такі матеріали належать до основної номенклатури комплектності виробу для складання, але штуками не обчислюються і до структурної схеми приладу можуть не вноситись.

Структурну схему приладу добре ілюструє побудова схеми ступенів складання виробу (рис. 1.1), отриманої на основі аналізу конструкторської документації: креслень, специфікацій, комплектувальних відомостей і технічних

умов. Виріб розчленовується на окремі компоненти складання – складальні одиниці та деталі. Залежно від складності ці елементи розміщують за ступенями схеми складання. На нижчому, або першому, ступені схеми розміщують найпростіші, первинні складальні елементи – деталі. Вище ставлять прості, отримані складанням вузли – складальні одиниці першого ступеня складання, далі їх з'єднують у складніші ступені – складальні одиниці другого ступеня складання тощо залежно від складності елемента аж до останнього верхнього ступеня схеми, де розміщується останній складальний елемент – виріб. Чим складніший прилад, тим більше ступенів. На отриманій схемі ступенів складання вирізняються ступені схеми, поточне значення яких позначають i та ступені складання з поточним значенням ступеня j . Якщо на схемі всього K ступенів, а ступенів складання n , то завжди має виконуватись умова $n = K - 1$.

Кожний складальний елемент схеми позначається прямокутником із секторами, де даються назва елемента, його номер за специфікацією, номер креслення, кількість даних елементів на один елемент складання.

За схемою ступенів складання можна визначити ступінь складності нового приладу, розрахувавши ряд його показників.

Загальна кількість елементів ступенів складання на схемі (разом із виробом)

$$S_K = \sum_{i=1}^k m_i S_i \quad (1.1)$$

Де m_i - кількість складальних елементів на кожному ступені схеми; S_i

S_i - складальний елемент кожного ступеня (деталь, ск. од. першого ступеня, ск. од. другого ступеня тощо).

Кількість складальних одиниць на вихідній схемі ступенів складання

$$Q = \sum_{j=1}^{n-1} m_j S_j \quad (1.2)$$

Коефіцієнт складальної складності нового виробу

$$K_{\text{скл}} = \frac{Q}{S_k} \quad (1.3)$$

Порівнявши ці кількісні показники схеми з аналогічними показниками схеми ступенів складання базового виробу, за який беруть такий, що випускався раніше, широко відомий прилад тієї самої групи, можна зробити висновок про більшу чи меншу складність складання і очікувану трудомісткість.

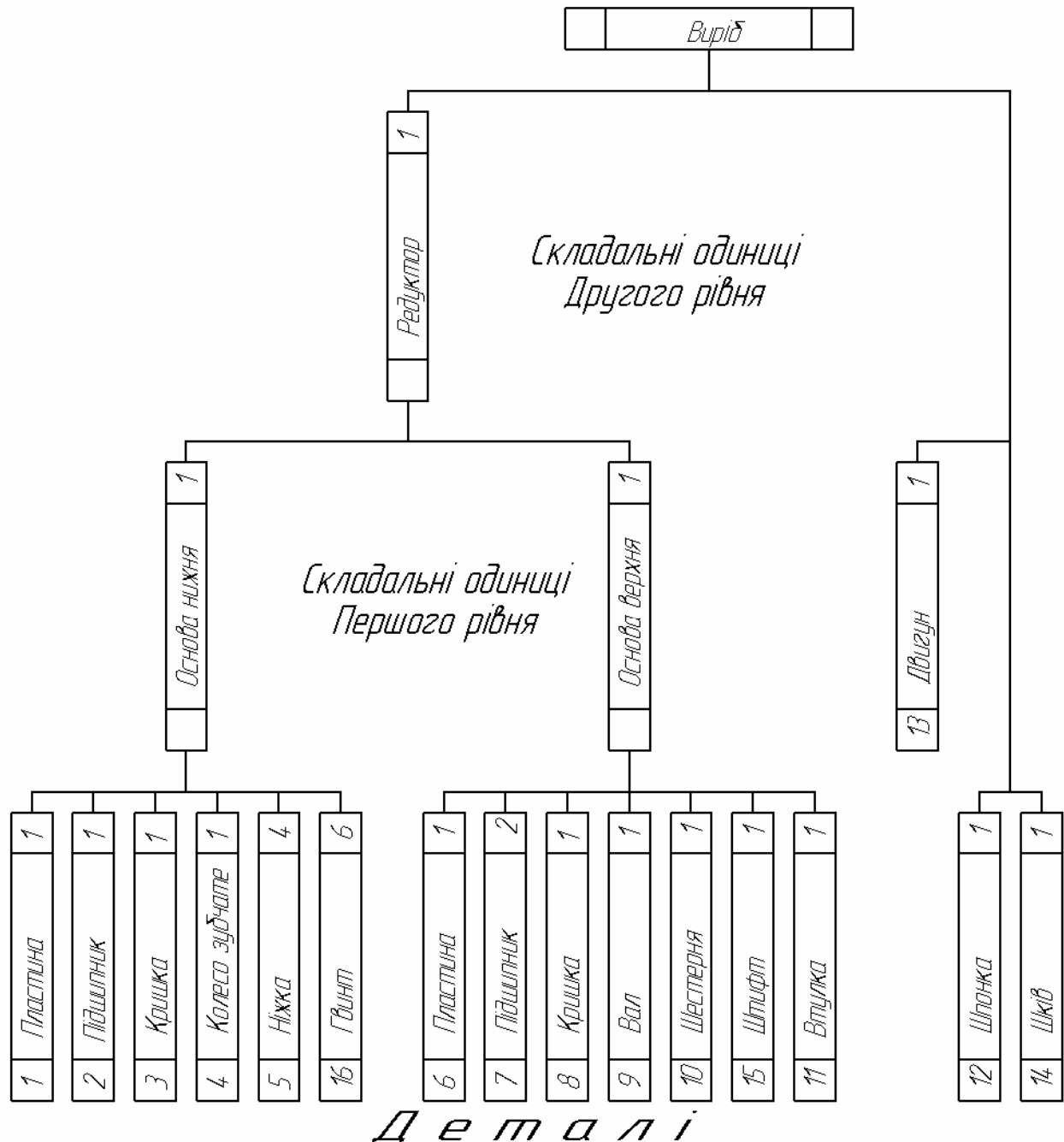


Рис.1.1. Структурна схема виробу

1.3 Основні етапи підготовки виробництва

Організація та керування процесом технологічної підготовки виробництва регламентується ЄСТПВ (ГОСТ 14.001-73, ГОСТ 14.002-73, ГОСТ 14.004-73 та ін.).

Технологічна підготовка складання приладів є одним із кінцевих етапів загальної технологічної підготовки виробництва. Разом з тим це найважливіша частина підготовки виробництва, яка охоплює питання організації складання, проектування технологічних складальних процесів, розробки системи контролю та випробовування виробів для забезпечення потрібної точності та надійності роботи складальних пристроїв. В організаційному плані згідно з ЄСТПВ технологічна підготовка складального виробництва приладів містить такі етапи підготовки, що виконуються послідовно:

1. Аналіз основних технологічних вимог до виробу.
2. Визначення структурного складу приладу.
3. Вибір організаційної форми складання.
4. Аналіз точності та вибір методу складання.
5. Розробка технологічної схеми складання.
6. Проектування технологічного процесу складання окремих структурних одиниць приладу та виробу в цілому.
7. Розробка системи контролю та випробовувань.
8. Вибір потрібного устаткування та оснащення.
9. Проектування та виготовлення спеціального устаткування і технологічного оснащення.
10. Вибір або розрахунок необхідних режимів роботи устаткування.
11. Встановлення категорії складності робіт і розрахунок норм часу.
12. Складення нормативів витрат матеріалів і трудових витрат.
13. Реорганізація робочих ділянок і цехів.
14. Освоювання технологічного процесу.

Кожний із етапів підготовки виробництва має певну мету, розв'язує свої специфічні завдання, керується своїми технічними матеріалами КТМ і містить певний комплекс робіт. Розглянемо найважливіші з цих етапів.

1.3.1. Аналіз основних технологічних вимог до виробу

На цьому етапі починається ознайомлення виробничо-технологічних служб

підприємства з новим приладом, який надійшов на виробництво. При цьому вивчається конструкція та основні технічні умови (ТУ) приладу; встановлюються особливості його будови, визначаються специфіки складальних робіт і можливі обмеження на технологічний процес складання за точністю та надійністю. Потім виконується порівняльний аналіз потрібного нового виробництва з раніше освоєним виробництвом таких приладів, які випускались даним підприємством; визначаються особливості складання і заходи щодо реалізації потрібної реорганізації або перебудови виробництва.

1.3.2. Визначення структурного складу приладу

За цього етапу підготовки складання визначаються конструктивна складність освоюемого виробу, його структурний склад і ступінь розчленованості на вузли, характер зв'язків між окремими елементами та ланцюгами, після чого визначаються початкові вихідні базові елементи, з яких починатиметься складальний процес. При цьому докладно вивчаються робочі креслення та принципові електричні схеми приладу їх специфікації та комплектувальні відомості. На основі виконаного аналізу будується схема складання виробу, за якою накреслюються основні напрямки складального процесу, встановлюється наближена кількість складальних операцій, потрібні ділянки та робочі місця для їх розміщення. Схему використовують для дальшого проектування технологічного процесу складання. а також диспетчерських виробничих служб підприємства, яка наочно показує необхідний порядок комплектування складення потрібними складальними елементами та складення графіка постачання усіх підрозділів підприємства та організаціями-суміжниками.

1.3.3. Вибір організаційної форми складання

Організаційна форма складання визначає оптимальну організацію складального процесу залежно від необхідного масштабу вироблюваної продукції, забезпечуючи найменші витрати на підготовку виробництва і випуск приладів. Про вибір потрібної форми складання та її зв'язок з типом виробництва йтиметься далі.

1.3.4. Аналіз точності та вибір методу складання

Цей етап приладобудування має важливе значення, оскільки питанням точності в цьому разі приділяється першорядне значення. Точність задається технічними вимогами на виріб виходячи з умов роботи приладу або його окремих елементів. Ці вимоги розглядаються як обмеження на складальні процеси, можливу варіацію похибок, які завжди можуть бути на виробництві. Можливе допустиме значення таких похибок може забезпечуватися різними за складністю варіантами складальних робіт: простим з'єднанням елементів без їх вимірювання та пригонки; з'єднанням, застосувавши добір точнісних характеристик елементів, з'єднанням з регулюванням точності в процесі складання та ін. Потрібний характер робіт за точністю визначається методом складання. Методом складання називають метод забезпечення заданої точності вихідних характеристик виробу в процесі складання за певних вимог взаємозамінності. Вимоги взаємозамінності визначаються аналізом точнісних характеристик виробу. Вибраний на базі цього аналізу метод складання має забезпечувати не лише задану точність виробу, а й відповідати всім вимогам економічної ефективності виробництва. У приладобудуванні застосовують переважно такі методи забезпечення точності виробу: повна взаємозамінність, взаємозамінність добором, регулюванням і пригонкою за допомогою обробки. Їх характеристики, аналіз точності та повний розрахунок наведені далі.

1.3.5. Розробка технологічної схеми складання

Схема ступенів складання, яку зображено на рис. 1.1, не дає повного уявлення про потрібну послідовність складання виробу та способи з'єднання його елементів. Щоб отримати чітку картину послідовного проведення робіт, розроблюють і будують технологічну схему складання (рис. 1.2).

Схема містить окремі гілки вузлових складань і загального складання приладу. Кожна гілка починається з базової деталі або з базового вузла, за які беруть складні

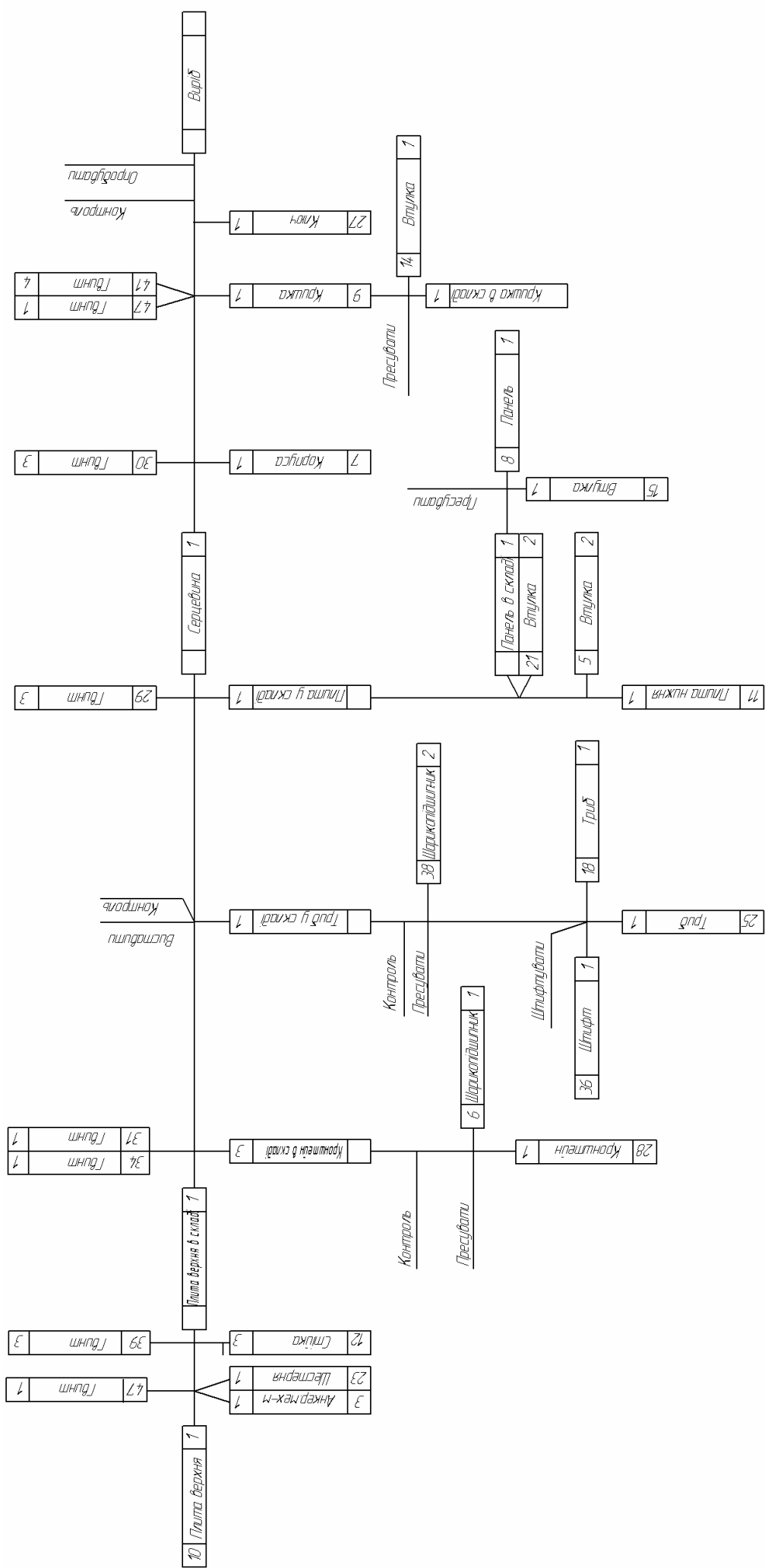


Рис.1.2. Технологічна схема складання

деталі або складальні одиниці нижчих ступенів складання. Складальний процес зображується на схемі лінією зліва направо. Розглядаючи гілки складання складальної одиниці вищого ступеня складання даного приладу, схему розвертають за годинниковою стрілкою на 90° , а будуючи гілки складання складальних одиниць нижчих ступенів, які входять до складніших складальних одиниць, додатково обертають у той самий бік. Знизу на лінію складання подаються складальні одиниці нижчих ступенів складання та основні деталі приладу, а згори - стандартні та нормалізовані деталі.

Кожний вузол з'єднаних елементів, що сходиться на гілці, є складальною операцією технологічного процесу або її окремим переходом. Сюди ж вводиться позначення методу з'єднання елементів (пресувати, клеїти, вальцювати, паяти тощо), який застосовується на даній операції, або методу додаткових робіт таких, як, наприклад: контроль, регулювати, притерти, змастити тощо, якщо таке є. Якщо потрібно перевірити якість, виконання складальної операції, висувається додатково вимога - контролювати. Можливе виділення на схемі окремо випробувальних робіт на кінцевій стадії складання. Іноді до окремих операцій вносять також позначення застосовуваних в них матеріалів наприклад марки припоїв, мастил, клеїв, просочуючих речовин, ущільнювачів та ін. Усі ці відомості визначаються технічними умовами на виробі.

Ретельно та докладно розроблена схема складання наочно показує складність технологічного процесу складання, його послідовність і є алгоритмом процесу отримання виробу або його окремих структурних одиниць. За такими алгоритмами можна легко виконати ручне або машинне проектування технологічного процесу.

1.3.6. Розробка системи контролю та випробувань

Система контролю та випробувань передбачає організацію певних робіт з перевірки основних найважливіших характеристик виробу, що складається, або його окремих елементів, які визначають точність і надійність роботи приладу в процесі експлуатації. Така система розроблюється паралельно з проектуванням технологічного процесу технічними службами підприємства та узгоджується з

відділами технічного контролю та замовником.

Створюючи системи контролю, визначають:

- основні параметри контролю;
- різновиди та методи контролю, його особливості;
- засоби контролю, необхідні для цього прилади та устаткування;
- послідовність проведення контролю;
- відповідну технічну документацію, методи заповнення відомостей технічного контролю.

На виробництві застосовують два основних методи контролю якості виробів:

пасивний, або статистичний, який фіксує якість продукції після виконаних операцій складання;

активний, або профілактичний, який попереджає випуск неякісної продукції у процесі складання.

Пасивний контроль, який проводиться в кінці складання виробу, дає змогу лише, розсортувати продукцію на придатну або непридатну, що має якісь відхилення від норм, встановлених технічними умовами. Активний (профілактичний) контроль проводиться під час виконання технологічних операцій і дає можливість слідкувати за основними параметрами процесу, реагувати на їх відхилення, вносити відповідні корективи і тим самим регулювати якісні показники виготовлюваної продукції.

Активний контроль складальних процесів передбачає вхідний контроль характеристик елементів, які надходять на складання, та застосовуваних при цьому матеріалів; операційний поточний профілактичний контроль отримуваних параметрів продукції в процесі виконання операції; контроль точності роботи контрольно-вимірювальної апаратури та відповідності її показників встановленим стандартним нормам; певну програму робіт з регулювання та коректування можливих відхилень характеристик, технологічного процесу.

Порівняльний аналіз цих двох методів контролю показує безперечні переваги активного контролю над пасивним (статистичним) щодо якісних показників виготовлюваної продукції в процесі виробництва складних високоточних приладів.

Водночас активний контроль потребує значно більших витрат часу та коштів, ніж пасивний, його організація та проведення складніші та більш трудомісткі. Тому, вибираючи той або інший метод контролю продукції, складання, слід враховувати економічну доцільність, остаточну ефективність кожного з них.

Простіший і дешевший пасивний метод контролю якості виробів можна рекомендувати для простих за конструкцією приладів з малою кількістю робочих характеристик, таких як термопари, термометри, пірометри, мініметри, індикатори, п'єзоакселерометри, тригери, окуляри, мікроскопи та ти. Для складних електромеханічних або оптико-електронних приладів наприклад, гіроскопічних приладів, оптичних автоколіматорів, багатодіапазонних перетворювачів, вимірювачів, регуляторів, які характеризуються великою кількістю робочих параметрів різної фізичної природи і мають складні внутрішні взаємозв'язки/рекомендується ефективніший активний метод контролю складальних, процесів.

Розроблюючи систему випробувань згідно з технічними умовами на даний прилад, визначають:

- основні параметри виробу, які треба перевіряти;
- різновиди випробувань і способи їх проведення;
- режими випробувань і послідовність їх проведення;
- потрібні кошти та устаткування;
- відповідну технічну документацію, форми запам'ятовування відомостей і журналів випробування виробу.

Оскільки випробовування приладів є основним методом визначення їх працездатності за певних заданих умов і перевіркою надійності роботи виготовлюваних виробів, цьому різновиду робіт у приладобудуванні приділено особливу увагу. Найхарактерніші різновиди та типи випробувань, застосовувані при цьому режими докладно розглянуто в спеціальній главі.

Документація на процеси технічного контролю регламентується ПОСТ 3.1502-74, а на випробувальні роботи - ГОСТ 3.1503-74, ГОСТ 3.1504-74. До складу документації входять операційні карти технічного контролю або випробувань і відомості технічного контролю або випробувань. Вони розроблюються за різновидами робіт і додаються до технологічної документації у вигляді самостійних

документів.

Операційні карти технологічного контролю або випробувань є основним документом для опису змісту робіт, які виконуються, у певній послідовності за переходами із зазначенням застосовуваного устаткування або апаратури та режимів, потрібних у процесі виконання робіт. Ступінь розчленованості операцій за переходами та повнота їх опису визначаються типом виробництва.

Відомості технічного контролю, або випробувань розроблюються на кожний виріб; їх заповнюють за результатами перевірок і вимірювань певній технічних характеристик приладів. До наперед складених таблиць заносять показники приладів або вимірювальної апаратури з певним ступенем точності, проставляють можливі відхилення в роботі приладів, або їх вузлів установлюють придатність продукції. До відомостей технічних випробувань заносять додаткові показники випробовуваних приладів за різних режимів навантаження, проставляють час проведення випробувань. Ці дані використовують для заповнення паспорта на виріб.

Розроблювана система контролю та випробувань має передбачати періодичну перевірку ряду виробничих характеристик, які впливають на якість виготовлюваної продукції. До такої перевірки мають входити відповідність конструкторської та технологічної документації, яка використовується на виробництві, відповідним технічним вимогам (стандартам, ЄСКД і ЄСТД); дотримання технологічної дисципліни в усіх підрозділах підприємства; дотримання необхідного санітарного стану виробничих ланок, що має особливе значення в процесі складання високе точних або оптичних приладів; періодична переатестація придатності застосовуваної технологічної контрольно-вимірювальної апаратури державною службою стандартів і мір.

1.3.7. Прискорена технологічна підготовка виробництва (ПТПВ)

Однією із специфічних сторін приладобудування є часта змінюваність виробів, які випускаються на підприємстві. Прискорення науково технічного прогресу висуває перед промисловістю нові завдання щодо вдосконалення техніки, які швидко змінюються. Найпростіше ці завдання розв'язуються за рахунок

створення нових ефективніших приладів. Це змушує часто змінювати об'єкт виробництва, освоювати нову продукцію.

Але, як впливає з попереднього матеріалу, така процедура потребує значного часу та роботи на технологічну підготовку виробництва, особливо за організації широкомасштабного випуску приладів, тобто великосерійного або масового виробництва. Тривалі терміни такої підготовки можуть призвести до того, що освоєна нова продукція буде вже морально застарілою або майже застарілою. Це змушує все частіше застосовувати ПТПВ.

Основне завдання такої підготовки - значно скоротити термін технологічної підготовки виробництва та прискорити випуск нових виробів, Воно складається з таких етапів:

- опрацювання нового приладу на технологічність;
- поєднання періодів конструкторської розробки виробу з технологічною підготовкою виробництва;
- застосування типових технологічних процесів;
- організація групових методів складання; уніфікація технологічного оснащення та устаткування;
- організація багатопредметних складальних ліній;
- широке застосування ЕОМ для автоматизованого проектування технологічного процесу.

Опрацювання нового приладу на технологічність виконується в період його розробки, проектування та доводки і полягає у створенні такої конструкції яка може бути виготовлена на виробництві за найменших витрат коштів, часу, матеріалів із застосуванням найпрогресивніших технологічних процесів. Оцінку ступеня технологічності приладу за рядом показників, які визначаються ГОСТ 14.203-74, розглянуто далі.

Поєднання періодів конструкторської розробки виробу з технологічною підготовкою виробництва дає змогу різко скоротити термін отримання нових приладів за рахунок одночасного та паралельного виконання ряду конструкторських і підготовчо-технологічних робіт поряд з багатьма етапами підготовки. Відповідно до ГОСТ 3.1101-70 попередній технологічний процес виготовлення елементів

приладу та їх складання розроблюють на стадії технічного або навіть ескізного проекту нового приладу. У процесі проектування приладів часто використовують типові рішення певних кінематичних, електромеханічних, пневмогідравлічних, електричних, оптичних та інших вузлів, які випускалися промисловістю раніше. Іноді застосовують аналоги приладів, які випускалися раніше, або окремих складальних одиниць. Усе це вже має проведену раніше технологічну проробку, певні заділи технологічної документації та інших технічних матеріалів. Використовуючи, каталоги цієї документації, можна з достатнім наближенням шукати раціональніші розв'язки і зводити всю технологічну підготовку лише до опрацювання та коректування технологічного процесу, які є на виробництві, а всі звільнені сили спрямувати не розробку нових, які не мають аналогів, елементів приладів, що дістали конструктивне оформлення. Велике значення має застосування в процесі проектування приладів типових класифікаторів, нормалей та інших КТМ, які дають змогу уніфікувати конструкцію, є отже, і технологічні процеси.

У період прискореної підготовки виробництва великого значення набуває використання типових технологічних процесів (ТТП), які дають змогу уніфікувати всю технічну підготовку виробництва різко скоротити її трудомісткість і терміни виконання. Під типізацією технологічних процесів розуміють розробку та створення єдиних галузевих нормалізованих ТТП виготовлення або складання для певних груп, близьких за конструктивними ознаками та операційним маршрутом процесу виготовлення елементів (деталей або складальних одиниць).

За основними виробничими показниками ефективності ТТП доцільніше застосовувати під час прискореної підготовки в серійному виробництві, де досить стала номенклатура деталей, які випускаються, і значна кількість подібних за конструкцією приладів і складальних одиниць, а отже, застосовується безліч однотипних технологічних процесів. Чим повніше розроблені ТТП, глибше проводяться типізація та уніфікація класифікаторів ТТП і ширше їх використовують за ПТПВ, тим краще досягається ефект економії коштів, трудових ресурсів.

Груповими технологічними називають процеси, що створюються для певних груп складальних одиниць, які обов'язково мають спільні технологічні ознаки збіжності за подібністю складального процесу, однаковості складальних робіт,

однотипності застосовуваного устаткування та оснащення. Наявність спільних конструктивних ознак складальних одиниць при цьому неонов'язкова.

Теоретичні основи групових методів складання розроблені проф. С.П.Митрофановим.

Раніше зазначалося, що однією з головних особливостей процесу складання приладів є насиченість технологічними контрольно-вимірювальними приладами та апаратурою (вторинними приладами), які значно ускладнюють даний процес і різко підвищують витрати на його організацію та освоєння. Тому уніфікація технологічного оснащення, особливо нормалізація, дають змогу значно скоротити витрати і час на організацію випуску нових виробів. Особливо успішно це завдання розв'язується із застосуванням типових технологічних процесів і групових методів складання.

Щоб краще організувати складальний процес у серійному та великосерійному виробництві, складальні місця розташовують за напрямом руху операцій технологічного процесу складання і з'єднують між собою певним пристроєм – конвеєром-транспортером, який переміщує об'єкти, що їх складають. Організуючи випуск інших деталей, які мають аналогічні технологічні процеси складання, можна використовувати вже створену і діючу лінію складання, оснастивши її складальні місця додатковими технологічними картами робіт, відповідними приладами, інструкціями та потрібним оснащенням.

Лінію складання, на якій можна складати різні подібні деталі, називають багатопредметною. Їй притаманні всі переваги гнучкого уніфікованого виробництва. Вона дає змогу без зупинки або перебудови одразу переходити в разі необхідності до складання будь-якого з намічених завдань виробів. Іноді практикують паралельний запуск на лінію складання кількох виробів, які складаються одночасно, що дозволяє запобігти можливим простоям складання через перебої з постачанням комплектуючих елементів на деяких об'єктах (позиціях).

Створення таких багатопредметних ліній за ПТПВ у серійному, дрібно або великосерійному виробництві є прогресивним методом організації виробництва, що різко зменшує витрати часу на освоєння нових виробів, збільшує продуктивність і зменшує собівартість.

Застосування машинного, проектування технологічних процесів є одним з найпрогресивніших напрямків організації прискореної технологічної підготовки виробництва, що помітно зменшує витрати часу на розробку процесів, вивільнює технологів від виконання багатьох другорядних описових робіт.

Багато з технологічних операцій з виконання ряду складальних процесів мають схожі текстові описи послідовності виконання цих робіт, що дає змогу звести їх шляхом уніфікації до стереотипних операцій з типовими алгоритмами. Усе це створює сприятливі умови розробки технологічних процесів на ЕОМ створенням типових пакетів програм з різних складальних процесів і покласти на машину написання типових текстів переходів і цілих операцій. Технологу доручається лише грамотно добрати відповідні програми, внести до них відповідні уточнення та провести необхідне коректування. Цьому важливому напрямку проектування технологічних процесів присвячено спеціальний розділ.

1.4. Організаційні форми складання приладів

1.4.I. Визначення типу виробництва

Організація складання приладів, її структура та оформлення дуже різняться залежно від вибраного типу виробництва. Тип виробництва є основним організаційним показником і визначає масштаби випуску виробів одного різновиду за рік.

Усі прилади, які випускаються у нашій країні, мають різний рівень застосування. Одні прилади широко застосовуються в народному господарстві і повинні випускатися постійно у великій кількості; інші застосовуються обмежено і випускають їх постійно, але в меншій кількості; а ще інші мають спеціальне вузьке призначення, випускаються у незначній кількості, але поновлюються через певний час. Щойно розроблені нові прилади випускаються дрібними партіями з метою їх випробовування на працездатність на об'єктах. Коли ж вони пройдуть усі випробовування і їх визнає державна комісія, то програма випуску їх може стрімко зрости.

Цілком очевидно, що організація виробництва, яке випускає малу кількість приладів, дуже відрізняється від організації широкомасштабного виробництва, що випускає прилади у великій кількості. Основним показником організації буде тип виробництва. У приладобудуванні застосовують такі типи виробництва: індивідуальне (одиничне), дрібносерійне, серійне, великосерійне і масове.

Коротко розглянемо їх характеристики.

Індивідуальне, або одиничне, виробництво призначене для виконання замовлень науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій з виготовлення і випробування дослідних зразків нових приладів. За структурою воно нагадує дослідно-експериментальне виробництво з великою кількістю різних лабораторій і підрозділів і створюється у вигляді окремого цеху чи дільниці, що випускають різноманітні за конструкцією прилади одиничного зразка або малими партіями. Таке виробництво глибоко універсальне, оснащене великою кількістю вторинних приладів широкого застосування та універсальною оснасткою, залучаються оператори-складальники високої кваліфікації.

Дрібносерійне виробництво також належить до універсальних і призначене для випуску, різноманітних приладів широкої номенклатури малими партіями або невеликими серіями через невизначені проміжки часу. Воно також оснащене універсальним устаткуванням і обладнанням, залучають операторів-складальників також високої кваліфікації. На такому виробництві проводяться технологічне доопрацювання приладів, доводка їх експлуатаційних характеристик, освоюється специфіка виготовлення нових зразків, налагоджуються зв'язки з іншими організаціями-постачальниками.

Серійне виробництво є основним у приладобудуванні. Воно характеризується яскравою циклічністю та певною спеціалізацією випуску широкої номенклатури приладів, схожих за експлуатаційними та конструкторськими ознаками. Робочі місця, дільниці та цехи такого виробництва мають предметну спеціалізацію, тобто орієнтуються на виготовлення певної продукції одного найменування (цех редукторів, дільниця плат, електромонтажний цех, цех виготовлення реле тощо). У цьому зв'язку намічається певна спеціалізація щодо розміщення устаткування та оснащення. Так, намотувальне устаткування для виготовлення різноманітних

обмоток (намотування проводу на каркас) зосереджене на одній ділянці або навіть у цеху. Програма випуску виробів серійних виробництв стабільна і обчислюється сотнями або навіть тисячами приладів.

Великосерійне виробництво в основному подібне до серійного, але має вузьку спеціалізацію щодо виготовлення певних приладів великими серіями. Продуктивність таких підприємств значно вища за рахунок вищого рівня механізації та автоматизації технологічних процесів. Програма випуску виробів значно більша та стабільніша. За таким типом організовано підприємства з випуску фотоапаратів, радіоприймачів, годинників тощо.

Масове виробництво в приладобудуванні зустрічається значно рідше, ніж інші, і призначене для виготовлення великої програми строго визначених приладів вузької номенклатури, які широко застосовуються у народному господарстві. Таке підприємство автоматизоване, його ділянки орієнтуються на проведення строго визначених робіт. Обладнання в основному напівавтоматичне або автоматичне і розміщується за рухом виконання технологічного процесу. При цьому досягається найвища продуктивність праці, але організація такого виробництва потребує багато часу та великих капітальних витрат, що не завжди доцільно в приладобудуванні.

Щоб визначити необхідний оптимальний тип виробництва, можна скористатись методом порівняння його темпу випуску виробів за рік із середнім операційним часом $T_{cp.on.}$ за всім процесом виготовлення або складання даного приладу.

Темп випуску виробів за рік t [хв] визначається заданою річною програмою N_p і річним фондом робочого часу Φ_p , з умови

$$t = \frac{60\Phi_p}{N_p} \quad (1.4)$$

Під час роботи в одну зміну $\Phi_p = 2070$ год, під час двозмінної роботи $\Phi_p = 4140$ год. Середній операційний час [хв] визначається з орієнтовної оцінки трудомісткості кожної окремої технологічної операції T_i по всім процесам:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{n_j} T_i}{\sum_{j=1}^p n_j} [\text{хв}] \quad (1.5)$$

де Р - кількість технологічних процесів складання окремих складальних одиниць і спільного складання, що визначається, за схемою ступенів складання; n_j - кількість операцій у кожному технологічному процесі.

Визначивши потрібні значення, порівнюємо їх і вибираємо тип виробництва.

Якщо $t \gg T_{cp}$ (тобто темп набагато перевищує середній час), то для даної програми ефективніше вибрати індивідуальне виробництво.

Якщо $t > T_{cp}$ (тобто темп перевищує середній час операції), то для потрібної річної програми приладів доцільно організувати дрібносерійне виробництво.

Якщо $t \cong T_{cp}$ (тобто темп одного порядку і наближено дорівнює середньому операційному часу), то доцільніше вибрати серійний тип виробництва.

Якщо $t < T_{cp}$ (тобто темп менший за операційний час), то слід організувати великосерійне виробництво.

Якщо $t \ll T_{cp}$ (тобто темп набагато менший за середній операцій час), то найкраще вибрати масове виробництво.

Вибраний тип виробництва визначатиме всю його подальшу організацію необхідні форми складання, різновиди технологічних процесів, методи отримання з'єднань потрібної точності тощо.

1.4.2. Вибір організаційної форми складання

Згідно з ГОСТ 3.1407-80 організаційною формою складання називають узвичаєну форму зв'язків між окремими робочими місцями та складальними операціями, яка забезпечує вибраному типу виробництва оптимальні за витратами умови. Під зв'язками між робочими місцями розуміють часову та предметну залежність. Тобто чи пов'язані ці місця спільним часом або циклом технологічного складального процесу, передають чи ні з одного робочого місця до іншого предмет складання - складальні одиниці, пристрої тощо, чи вся продукція береться з проміжного складу і здається в кінці роботи на склад; чи об'єднані одним спільним

нарядом усі складальні місця.

На приладобудівних підприємствах зустрічаються в основному дві організаційні форми складання - стаціонарна та рухома. Вибір тієї чи іншої форми визначається типом виробництва та складністю конструкції приладу.

Стаціонарне складання широко застосовується в індивідуальному, дрібносерійному та серійному виробництві приладобудування. У процесі стаціонарного складання узвичаєно розімкнену форму зв'язків між робочими місцями. Складання виробу виконується окремо на різних, але постійних робочих місцях, які не залежать одне від одного в часі, без переміщення об'єкта, який складають, безпосередньо від одного робочого місця до іншого. До кожного робочого місця подають усі необхідні складальні елементи, попередньо складальні вузли, матеріали, складальна оснастка та устаткування. Таке складання виконує або один робітник-складальник, або бригада робітників. У свою чергу, залежно від масштабу випуску стаціонарне складання поділяється на концентроване та диференційоване. Той чи інший різновид вибирають порівнюванням темпу випуску виробів t із циклом складального процесу f :

$$f = \frac{T_1}{K} \text{ [хв]} \quad (1.6)$$

де T_1 - трудомісткість складання одного виробу, хв; K - кількість задіяних складальників на складання даного виробу.

Якщо $t \geq f$ то вибирають концентроване складання, якщо $t < f$ диференційоване.

Концентроване стаціонарне складання характерне для індивідуального та дрібносерійного виробництва і виконується на одному робочому місці або одним робітником, або бригадою. У цьому разі всі складальні операції з усього технологічного процесу виконуються послідовно на цьому місці, до якого подають у разі необхідності потрібні за процесом матеріали, складальні елементи, контрольно-налагоджувальні та перевіряючі прилади і пристосування. Недоліки такого складання полягають у тому, що через послідовність усіх необхідних робіт цикл складання різко збільшується, сама робота має низький рівень механізації та

автоматизації і її виконують в основному вручну. До переваг такого складання належать його велика гнучкість та універсальність, швидкість освоєння нової продукції, оскільки працюють складальники переважно високої кваліфікації та широкої універсальності.

Диференційоване стаціонарне складання характерне для серійного виробництва, коли через збільшену програму випуску виробів темп став меншим за цикл складання і послідовне складання вже не задовольняє виробництво. Таке складання передбачає розчленування технологічного складального процесу на ряд вузлових і спільне складання приладу. Вузлові складання виконуються паралельно на окремих робочих місцях, які мають певну предметну спеціалізацію з якогось різновиду складальних робіт - намотування, паяння, зварювання, складання реле, редукторів або інших окремих, функціональних блоків. При цьому такі місця краще оснащені необхідною оснасткою, приладами та автоматикою, через що продуктивність набагато вища. Загальне складання виконується окремою бригадою висококваліфікованих робітників. Тривалість циклу такого складання значно менша через паралельність робіт і їх підвищену продуктивність.

Рухоме складання характерне для великосерійного та масового виробництва, коли застосовується замкнена форма зв'язків між робочими місцями. Таке складання полягає в переміщенні об'єкта, який складають, за рухом виконання складальних операцій від одного робочого місця до іншого. При цьому на кожному робочому місці постійно виконується цілком визначена робота (паяння, монтаж, зварювання, регулювання та ін.), що дає змогу досягти відповідної спеціалізації робочих місць, широкого застосування механізації та автоматизації робіт, отримати високу продуктивність праці. За такої форми складання вироби рухаються потоком уздовж складальної ділянки або цеху. Це складання характеризується тактом (або ритмом) переміщення r який визначає час, за яким об'єкт має переміститися від одного складального місця до іншого.

Ритм, або такт, складання r звичайно оцінюється за найменш трудомісткою операцією, яка має мінімальний штучний операційний час T_{um} . Тоді такт буде

$$r \cong T_{ummin} [\text{хв}]$$

А кількість робочих місць зі збільшеним часом складання збільшується в два

або три рази тощо. Залежно від типу виробництва рухоме складання організовується двома способами - з вільним і з жорстким тактом руху елементів.

Рухоме складання з вільним тактом переміщення продукції звичайно застосовується у великосерійному виробництві і характеризується нежорсткою часовою залежністю між складальними місцями. Елементи передають з одного робочого місця до іншого в міру виконання технологічних операцій без дотримання технологічних операцій певного такту. Переміщення виконується вручну або за допомогою транспортера поштучно або невеликими партіями. Звичайно за такої форми складання між робочими місцями є певний запас зібраної продукції, що дає змогу компенсувати різну швидкість виконання операцій одного складального процесу.

Робочі місця за такого складання розташовуються за рухом технологічного процесу складання виробу, але специфічні операції, які вимагають особливих умов виконання або особливого устаткування, звичайно виносять із потоку на інші ізольовані ділянки. Хоча це й порушує неперервність складального потоку, проте спрощується технологічна підготовка виробництва, зменшується фронт робіт з переобладнання робочих місць, за рахунок використання таких ділянок для складання різних виробів. Приклади таких виносних специфічних робіт: просочувально-сушильні, намотувальні, контрольно-вимірювальні, попередні перевірки випробування та ін. У процесі складання оптичних приладів до таких процесів належать також налагоджувально-юстирувальні роботи, а в процесі складання гіроскопічних приладів – балансування ротора гіроскопа.

Рухоме складання з жорстким тактом застосовується звичайно в масовому виробництві і характеризується строго визначеним тактом періодичного переміщення об'єкта, який складається, і жорсткою (або щільною) часовою залежністю між окремими робочими місцями. Ці місця з'єднуються перемішувачем (звичайно стрічковим транспортером), який рухається або із сталою швидкістю, яка дає можливість перенести об'єкт, що його складають, на сусіднє місце за час складального такту, або періодично і за час такту швидко переміщується на крок, що дорівнює відстані між робочими місцями. У першому випадку між робочими місцями має бути мінімальний запас продукції, яка

складається, а в другому його може й не бути, і це вимагає чіткої організації праці.

Складальні місця за такої форми складання розміщують строго за рухом технологічного процесу, куди звичайно додають і специфічні операції, що потребує значної, реконструкції виробництва при запуску нового виробу та великих капітальних витрат. Власне складання та інші різновиди робіт виконуються або на спеціальних складально-слюсарних столах, оснащених необхідною контрольно-перевірною апаратурою, або безпосередньо на транспортері, який періодично зупиняється. Складальні процеси за такого складання добре механізовані та автоматизовані, що дає змогу отримати найвищу продуктивність праці, зменшити складальний цикл одного виробу та підвищити якість продукції, яка випускається, за рахунок збільшення надійності автоматизованого технологічного процесу.

У разі складання з жорстким тактом транспортер або, як його у цьому випадку називають, конвеєр, є складовою частиною всього складального процесу, його організуючою ланкою, яка пов'язує окремі робочі місця в єдину технологічну систему. Через це таке складання називають конвеєрним.

Організація конвеєрного складання одного виробу хоча й забезпечує високу продуктивність випуску продукції, проте, як згадувалося, вимагає перебудови виробництва і значних капітальних витрат, що не завжди рентабельно. Щоб підвищити, ефективність такого складання, сьогодні розроблено і впроваджено методи організації на базі одного конвеєра багатопредметної складальної лінії. Таку лінію роблять досить універсальною, орієнтують на неї групу однотипних виробів, які мають спільні технологічні ознаки складального процесу, оснащують операційні місця потрібною технологічною документацією, устаткуванням і апаратурою.

Дуже вдало вирішується питання про створення багатопредметної складальної лінії із застосуванням групового методу складання, розглянутого у розділі прискореної технічної підготовки виробництва. Спільність технологічних ознак ряду окремих приладів або їх окремих складальних одиниць дає змогу розробити ідентичні технологічні процеси для групи виробів, які можна скласти на одному конвеєрі, не перебудовуючи його. При цьому такі вироби групи запускаються на конвеєр у міру необхідності і можуть випускатися паралельно. Такий підхід до питання уніфікації конвеєрного складання дає можливість застосовувати його не

тільки в масовому виробництві, а й за наявності значної групи подібних виробів його доцільно організовувати на великосерійному та навіть у серійному виробництві як найефективнішу форму праці, яка забезпечує високу продуктивність, низьку собівартість та хорошу якість продукції.

1.5. Проектування технологічних процесів складання

1.5.1. Вхідні дані

Проектування технологічного процесу складання приладів і його окремих складальних одиниць є одним з найвідповідальніших етапів підготовки виробництва, який визначає ефективність і ряд важливих техніко-економічних показників.

Основними вхідними даними або матеріалами, за допомогою яких можна грамотно спроектувати технологічний процес будь-якого виробу та окремих його елементів, є такі.

I. Креслярсько-конструкторська документація, до якої входять складальні креслення всього приладу та його окремих складальних одиниць різних рівнів складності і деталювання цих елементів. До конструкторської документації належать також принципові електричні, пневматичні, гідравлічні, оптичні, оптико-електронні та інші схеми з'єднань та їх монтажні різновиди. Для складних кінематичних приладів іноді виконується кінематична схема, яка пояснює принципи взаємозв'язків окремих кінематичних ланцюгів виробу.

Усі, конструкторські матеріали повинні мати відповідні специфікації, комплектувальні відомості елементів приладу та необхідних для складання матеріалів (дротів, ущільнювачів, прокладок, мастил, покриттів тощо).

2. Технічні умови на виріб, до яких належать опис виробу, його призначення та основні дані, умови експлуатації, технічні вимоги виготовлення, складання виробу в цілому та його окремих елементів, особливості вкладання та регулювання, параметри контролю і послідовність перевірки та випробовування конструкції, вимоги до контрольно-вимірювальної апаратури, а також умови приймання,

маркірування, пакування та транспортування. Такі умови та вимоги в стислій формі визначають основні умови виготовлення та складання приладів, їх контролю і випробувань, необхідні обмеження для отримання виробів високої якості.

3. Річна програма випуску виробів, або розмір потрібної їх партії, які визначають темп виробництва, вибір певного типу виробництва та відповідної організаційної форми, складання. Залежно від масштабу випуску виробів помітно змінюються не лише розміри реорганізації виробництва, а й форма і зміст технологічного процесу їх виготовлення і складання, деталізація його виконання, орієнтація на різне устаткування та оснащення.

4. Керівні технічні матеріали, до яких належать ЄСКД, ЄСТД, ЄСТПВ і державні стандарти на різні технологічні процеси виготовлення, складання, регулювання та контролю, інструкції та норми щодо використання контрольно-вимірювальної апаратури, пристроїв і інструменту, каталоги устаткування та параметри режимів. До КТМ належать також переліки та описи застосовуваних матеріалів і оснастки на даному підприємстві, а також різні нормативи та характеристики ділянок та інших підрозділів виробництва, для якого проектується технологічний процес.

На базі перелічених вхідних даних і технологічної схеми складання, яка наочно показує послідовність виконання процесу, проектуються технологічні процеси складання виробу в цілому та його складальних одиниць.

1.5.2. Структура технологічного процесу та застосовувана документація

Технологічний процес виготовлення або складання будь-якого виробу на виробництві є розгорнутим планом або переліком необхідних робіт у певній послідовності, що в остаточному результаті має забезпечити отримання потрібного об'єкта з необхідними параметрами. Технологічний процес поділяється на основні структурні елементи – операції.

Згідно з ГОСТ 3.1407-74 операція – це завершена частина технологічного процесу, яка виконується безперервно на одному робочому місці одним робітником або бригадою робітників. Зміст робіт у кожній операції визначається їх складністю,

кількістю та складністю технологічного устаткування і оснастки, типом виробництва, рівнем механізації та автоматизації робіт. Кожна операція складається з окремих переходів.

Перехід – це частина операції по виконанню певного різновиду роботи із застосуванням будь-якого складального інструмента, контрольно-вимірювального пристрою, складального устаткування тощо. У процесі проектування регульовально-налагоджувальних складальних операцій до кожного окремого переходу входить робота по одержанню одного певного параметра виробу в заданих межах.

Приклад. Операція: Складання кришки з корпусом.

Переходи:

1. Установити на корпус шпильки (інструмент – ключ торцевий).
2. Нанести на стикувальну поверхню герметик (інструмент – щітка або шпатель).
3. Надіти на шпильки прокладку.
4. Нанести зверху на прокладку герметик (інструмент – щітка або шпатель).
5. Надіти кришку.
6. Загвинтити на шпильки гайки (інструмент – гайковий ключ).

У процесі проектування операції регульовально-налагоджувальних робіт переходи матимуть відповідний склад: ”регулювати величину зазору потрібно в межах 0,05...0,08 мм (інструмент – викрутка, гайковий ключ, прокладка, щуп)”.

Захід – це частина переходу, яка уточнює певну цілеспрямовану дію складальника стосовно виконання даного переходу або обслуговування виконуваної складальної операції.

Приклад. У наведеній складальній операції останній перехід загвинчування гайок потрібно виконувати в такій послідовності:

- надіти на шпильки шайби Гровера;
- наживити на шпильки гайки;
- загвинтити гайки в певній послідовності згідно з правилами;
- затягнути гайки в тій самій послідовності на 1,5-2 оберти;
- контрити з’єднання нітролаком;
- контролювати з’єднання.

Коли технологічний процес дуже диференційований чи розчленований (ці процеси звичайно створюються для велико серійного або масового виробництва), частина переходів збігається із заходами, як наприклад: надіти прокладку, вставити вісь у втулку, встановити тягу тощо. Така докладна деталізація операцій щодо заходів необхідна для того, щоб чітко і правильно розрахувати потрібний час на виконання робіт за технічного нормування спроектованого технологічного процесу.

Основний перелік технологічної документації щодо складально-слюсарних, складальних, складально-регулювальних та електромонтажних робіт і порядку їх оформлення регламентується ГОСТ 3.1407-74, згідно з яким для проектування складальних процесів застосовуються такі технологічні карти:

1. Маршрутна карта процесу складання виробу, призначена для опису складального процесу переліком необхідних операцій у певній технологічній послідовності.

2. Маршрутно-операційна карта, яка має аналогічне з маршрутною призначення, але містить перелік необхідних операцій з коротким розшифровуванням необхідних робіт, позначенням збільшених переходів. Є основним документом в одиничному та дрібносерійному виробництві за розробки укрупнених концентрованих технологічних процесів.

3. Операційна технологічна карта складальних робіт – основний технологічний документ при проектуванні процесів складання в серійному і масовому виробництві. Такі карти застосовуються для докладного опису окремих слюсарно-складальних, слюсарно-монтажних і електромонтажних операцій за необхідними переходами в потрібній послідовності із зазначенням застосовуваних методів, оснастки та інструменту, необхідних режимів роботи, послідовності з'єднання елементів і контролю якості цього з'єднання.

4. Операційно-технологічна карта типового (або групового) технологічного процесу складання, яка має таке саме призначення, що й попередня. Використовується за розробки типових або групових процесів із зазначенням базового устаткування та оснастки.

5. Комплектувальна карта, яка застосовується до кожного технологічного процесу складання і призначена для чіткого позначення деталей і складальних

одиниць нижчих порядків, що входять до складальних одиниць вищих порядків складності або цілих виробів. Використовується допоміжними службами для необхідної підготовки складальних місць до роботи. Така карта складається на основі специфікацій на виріб.

6. Комплектувальна відомість матеріалів. Використовується як додатковий документ, призначений для позначення необхідних матеріалів, які використовуються на складальних операціях технологічного процесу. Застосовується допоміжними службами для оснащення робочих місць необхідними складальними матеріалами за операціями.

Перелічена технологічна документація заповнюється згідно з вимогами проектування відповідними технологічними службами, затверджується керівниками служб і є обов'язковим законом для цехів-виготовлювачів. Недотримання встановленої технологічної дисципліни на виробництві є грубим порушенням, яке призводить до зупинки всього виробничого процесу.

1.5.3. Різновиди технологічних процесів складання приладів

У приладобудуванні застосовується кілька різновидів технологічних процесів (ТП) залежно від умов виробництва та специфіки конструкції виробу, на який проектується даний процес. За своїм зовнішнім оформленням і докладністю розробки робіт, описуваних даним процесом, ТП поділяються на концентровані та диференційовані.

Концентровані ТП використовуються в одиночному та дрібносерійному виробництві, оформлюються у вигляді маршрутно-операційних карт і є мало розшифрованим збільшеним варіантом процесу з незначною кількістю операцій. Разом з тим кожна операція такого процесу містить значну кількість переходів для виконання різних робіт зі складання певних складальних одиниць або виробу в цілому. У таких процесах важливим моментом є лише послідовність виконання робіт і обмеження за точністю до певних умов регулювання і контролю. Такі процеси орієнтовані на використання універсального технологічного устаткування та контрольно-вимірювальної апаратури і виконуються операторами-

складальниками високої кваліфікації, які можуть складати елементи виробу без докладного опису необхідних для цього заходів, інструментів і контрольно-вимірювальних засобів.

Умовою розподілу такого концентрованого ТП на окремі операції звичайно є розчленованість виробу на складальні одиниці вищих порядків складності. На складання кожної такої складальної одиниці відводиться окрема операція процесу. Кінцеві операції такого процесу полягають у з'єднанні таких складань в єдиний виріб і одержанні потрібних його вихідних параметрів за величиною і точністю. Трудомісткість виконання операцій у даних процесах звичайно строго не регламентується.

Диференційовані ТП проектуються і використовуються в серійному, великосерійному і масовому виробництві, оформлюються у вигляді операційно-технічних карт і містять велику кількість операцій процесу. Ступінь розчленування (деталізації) такого процесу на окремі операції визначається в основному різновидом і складністю складальних робіт, а також типом виробництва, для якого проектується даний процес. Так, для серійного виробництва складальні операції звичайно мають кілька переходів щодо складання або налагоджування простих складальних одиниць нижчих порядків складності. Для масового виробництва такого самого виробу процес ще більше розчленовується і деталізується і кожна операція ґрунтується на виконанні одного-двох складальних переходів із докладним описом необхідних заходів виконання вибраної роботи.

Якщо в процесі проектування концентрованих ТП виконується в основному вимога до точності виготовлення виробу, то під час розробки диференційованих ТП додатково розв'язуються завдання забезпечення економічності процесу, його ефективності та найкращої організації. Саме ці додаткові умови іноді є основними в процесі розв'язання питань про вибір операцій процесу, ступінь його розчленованості та рівень деталізації робіт.

У диференційованих ТП застосовуються спеціальне або спеціалізоване устаткування, високопродуктивні автоматичні установки та пристрої підвищеної продуктивності. Кожна операційна технологічна карта такого диференційованого ТП включає лише одну технологічну операцію процесу і містить докладну

інформацію про застосування устаткування, оснастки та інструмента; необхідні режими виконання робіт; обмеження до точності складання і методів контролю та випробувань складеного об'єкта; потрібні витрати операційного часу на виконання кожного різновиду робіт.

За методикою проектування технологічні процеси складання поділяються на три категорії: типові (ТТП), групові (ГТП) і спеціальні (СТП).

Деякі відомості про такі процеси наведено в розділі прискореної технологічної підготовки виробництва.

На кожному виробництві ТТП розробляються на новий виріб на основі наявних одиниць галузевих зразкових ТТП. Останні створюються для певних груп, схожих за конструктивними ознаками та спільністю процесу складання елементів виробу, і є еталонними зразками процесу складання типової конструкції (складальної групи). Такі конструктивні елементи беруть із спеціально розроблених для даної галузі виробництва класифікаторів виробів і його складальних груп. Розробниками зразкових ТТП і класифікаторів за галузями є головні технологічні інститути, які розсилають цю технологічну документацію всім організаціям галузі. На основі цієї документації технологічні служби кожної організації розробляють за аналогією реальні ТП конкретно до виробу, який випускається виробництвом.

У зразкових ТТП максимально враховано всі найновіші прогресивні технологічні процеси, оптимально пророблено питання виробу маршруту виконання складальних операцій, установочних складальних баз на деталях, необхідного устаткування, інструмента та режимів проведення робіт з позицій останніх досягнень науки і техніки.

Потрібні для проектування ТТП провідні технологічні інститути та підприємства-користувачі вибирають згідно з єдиною галузевою класифікацією, базою якої є перелік основних уніфікованих, найпоширеніших приладів або вузлів, які випускаються даною галуззю, з характерними конструктивно-технологічними ознаками. Кількість ступенів класифікації залежить від складності приладів і ступеня їх уніфікації. У приладобудуванні розроблено чотириступеневі галузеві нормалізовані класифікатори. Вони мають таку градацію: клас, різновид, група, тип за ступенем зменшення складності складальних груп і одиниць.

У складальних класифікаторах в окремі класи виділено прилади або їх складальні групи (за використовуваною енергією або за фізичними методами її перетворення). Наприклад, до різних класів належать механічні, оптико-електронні пристрої тощо. Класи розподіляються також за функціональним призначенням пристроїв, їх технічними можливостями, габаритною класифікацією та ін. З наведеного випливає, що вироби розподіляються на класи в основному за конструктивними ознаками.

Уся подальша класифікація за нижчими ступенями крім конструктивної спільності складальних елементів ґрунтується на наростанні подібності (або збіжності) технологічних ознак. Так, наступний ступінь класифікатора – різновиди – формуються вже на основі спільності методів з'єднання елементів: рухомі, нарізні, зварені або отримані пресуванням, паянням, склеюванням тощо. До окремих різновидів належать також складальні групи, отримані різними технологічними методами або процесами: намотуванням, електромонтажем, слюсарно-механічним складанням та ін. Кожний різновид класифікується за конструктивними ознаками: спільністю конструкції основних елементів, які утворюють складальну одиницю, або за їх функціональним призначенням і особливостями. Так, зубчасті редуктори поділяються на прямо- та косозубі, черв'ячні, комбіновані, циліндричні, планетарні, хвильові тощо.

Групи комплектуються за кількісним складом елементів у складальні одиниці та спільністю важливих технологічних ознак – подібністю операцій і застосовуваним устаткуванням. Крім того, групи складальних одиниць класифікуються за відмінностями основних специфічних технологічних процесів: регулювання, налагоджування, покриття, просочування, особливих випробовувань і покриття, які виконуються за особливих технічних умов.

Тип складального класифікатора об'єднує такі складальні одиниці, які мають близькі конструктивні ознаки та подібний технологічний процес складання та контролю.

Із складальних одиниць певного типу вибирається основний – базовий об'єкт, найхарактерніший для складних вузлів, який містить усі конструктивні елементи даного типу, і на нього виконується проектування зразкового ТТП. Якщо в якомусь

типі класифікатора такого спільного вузла немає, то можлива спеціальна розробка такого базового вузла – комплексного представника типу, якого реально в металі не існує.

Зразковий ТТП оформлюється у вигляді спеціальних типових технологічних операційних карт, форма і зміст яких для основних складальних робіт визначені ГОСТ 371407-74. Для швидкого та правильного користування ТТП на виробництвах застосовувані в галузях приладобудування класифікатори оснащуються докладними каталогами з описом необхідних ознак відповідних складальних елементів. Щоб зорієнтуватись у виборі потрібного типу вузла та на його базі швидко вибрати потрібний ТТП, на підприємствах-виробниках існують також каталоги прототипів і відповідні розпізнавальні карти. Користуючись цими документами, можна за аналогією швидко спроектувати необхідний реальний технологічний процес, виконавши відповідну прив'язку його до реального виробу.

Групові ТП розроблюються для певних груп елементів приладів, об'єднаних за наявності певних спільних технологічних ознак аналогічно з технологічним процесом складання, спільності операцій і переходів та заходів, які проводять у них. Наявність спільних конструктивних ознак елементів, які складаються, з кожної групи необов'язкова. Теоретичні принципи побудови таких процесів розроблені проф. С.П.Митрофановим.

Групові ТП доцільно застосовувати на підприємствах, які випускають різні прилади широкої номенклатури, серії яких часто змінюються. При цьому у різних виробів у процесі виготовлення та складання часто зустрічаються однакові за складом технологічні роботи. Розробивши технологічні процеси виготовлення цих виробів на прості операції, можна відокремити з них ряд певних операцій, технологічні роботи в яких за складом необхідних переходів або заходів аналогічні і різняться лише деталями, які складаються, їх формою, розмірами та призначенням. Виконуючи ці операції, застосовують однакове устаткування, оснастку та інструмент, ідентичні режими робіт і методи контролю. Подібні операції для різних виробів утворюють групову технологічну операцію складання, яку можна об'єднати в одну операційно-технологічну карту.

Така групова операція складання розроблюється у формалізованому вигляді

для виготовлення найскладнішого, так званого комплексного, складального об'єкта з усіх вузлів виробу, які входять до даної групи. Ця операція має містити всі можливі варіанти робіт, переходів і заходів, які можуть зустрітись у процесі складання будь-якого об'єкта групи. Оформлена як окрема операційна карта, така операція може використовуватись для складання всіх складальних одиниць, підібраних до даної групи за технологічною спільністю. При цьому потрібно виконати відповідну кореляцію переходів і заходів, викреслити на карті-заготовці зайві переходи або заходи та внести відповідні шифри або назви складаємих елементів, які входять до даного складання, уточнивши об'єкт складання.

Оскільки робочі місця для кожної операції ГТП оснащуються технологічним устаткуванням та інструментом за максимумом на всі можливі варіанти складання виробів групи, то перехід до виготовлення будь-якого з них майже не потребує реорганізації місця, а зводиться до певної корекції елементів операції та режимів вимірювання.

Даний метод дає змогу поширювати групове складання на окремі широко застосовувані операції або на весь технологічний процес складання, який визначається ступенем спільності технологічних ознак складаємих деталей. Для широкого й грамотного використання цього методу на виробництві та постійного поповнення відповідних груп новими виробами розробляються спеціальні групові розпізнавальні карти або класифікатори поширених технологічних операцій з переліком певних технічних умов, які відповідають специфіці групи.

Спеціальні ТП (СТП) складання розробляються технологічними службами виробництва в процесі запуску нового виробу, конструкція якого має певну специфіку і різниться від усіх приладів, які випускалися раніше. Це особливо видно за переходу виробництва до освоєння принципово нових поколінь приладів, у конструкцію яких закладено інші методи перетворення величин, нові малознайомі матеріали тощо. У такому разі типове або групове проектування процесів досить складне та трудомістке через відсутність аналогів. Тому простіше і надійніше спроектувати новий технологічний складальний процес спеціально для даного приладу та його структурних одиниць. При цьому потрібно обов'язково враховувати рекомендації аналогічних ТТП, ГТП і досвід технологічної роботи. Природно, що

такі спеціальні технологічні процеси вдосконалюватимуться і на їх базі можна розроблювати нові ТТП і ГТП.

1.6. Вибір найефективнішого варіанта процесу складання

У підрозділі 1.5 розглянуто різновиди технологічних процесів складання приладів, які можна спроектувати для певного виробу. Кожний різновид процесу (типовий, груповий, спеціальний), створений у збільшеному концентрованому або в докладному диференційованому варіанті, може бути рентабельним, тобто економічно доцільним, або нерентабельним для різних за умовами виробництва за випуску одного й того самого приладу. Вибір найефективнішого варіанта технологічного процесу складання для кожного конкретного виробництва, яке має власні певні характеристики, - одне з найважливіших завдань в організаційній підготовці виробництва, що визначить у майбутньому його економічні показники.

Таким чином, завдання вибору доцільного різновиду технологічного процесу багатоваріантне, дає змогу отримати в кінцевому підсумку потрібні вироби із заданими параметрами, але різними шляхами, за різної організації та перебудови виробництва, тобто з різним розміром витрат матеріальних і людських ресурсів.

Головний критерій оцінки ефективності кожного варіанта ТП на виробництві – рівень отримуваної за даного процесу собівартості виробу. Собівартість виробу – найважливіший економічний показник виробництва, який визначає терміни окупності внесених у нього витрат на організацію випуску даних виробів і отримуваний виробництвом прибуток за їх реалізації.

Річна собівартість будь-якого виробу C_p за певної річної програми випуску N_p у збільшених показниках така:

$$C_p = (C_M + C_{on} + C_{H.B})N_p + C_n, \quad (1.7)$$

де доданки в дужках – сума поточних витрат на виготовлення одиниці виробу; C_M - витрати на придбання необхідних матеріалів і комплектувальних елементів у суміжників; C_{on} – витрати на оплату робітникам-виготовлювачам на всіх операціях виготовлення даного виробу; $C_{H.B}$ – поточні накладні витрати, віднесені на одиницю виробу (загальні витрати виробництва, оплата адміністративно-технічного

персоналу, витраченої енергії, газу, води, утримання транспорту, амортизація будівель, устаткування, установок, технологічних стендів, приладів тощо; докладно про точне визначення цих витрат йдеться в курсі економіки виробництва); C_n – одноразові попередні витрати на підготовку та організацію виробництва даного виробу (закупівлю необхідного устаткування, технологічної апаратури, інструмента, автоматичних пристроїв, реорганізацію та перебудову ділянок підприємства і його служб, проектування ТП, оснащення робочих місць тощо).

Подавши вираз (1.7) у вигляді $C_p = aN_p + b$ (де a – сума поточних витрат; b – одноразові попередні витрати на підготовку виробництва), дістанемо рівняння прямої в координатах, де змінною на осі абсцис є річна програма випуску виробів N_p (рис. 1.3), а на осі ординат відкладемо витрати в умовних одиницях або у гривнях. Різний нахил прямих C_1 і C_2 показує, що поточні витрати другого варіанта технологічного процесу перевищують витрати першого ($a_2 > a_1$) і їх можна подати у вигляді $\tan \alpha = a/N$. Оскільки $a_2 > a_1$, то й $\alpha_2 > \alpha_1$.

Порівнюють варіанти технологічних процесів складання та вибирають найефективніший за отримуваною собівартістю виробу згідно з діаграмою, зображеною на рис. 1.4. Перший варіант з річною собівартістю виробів C_{p1} розрахований на малі попередні витрати, застосування універсальних засобів, що вимагає робітників високої кваліфікації та значних поточних витрат на оплату їх праці, амортизацію існуючого устаткування та оснастки, спеціальної розробки технологічного процесу тощо. Якщо спроектувати варіант технологічного процесу, зорієнтувавши його на автоматичне устаткування, і взяти групову технологію, то дістанемо іншу річну собівартість виробів C_{p2} , за якої $b_2 > b_1$; $a_2 < a_1$. Поточні витрати при цьому будуть меншими, оскільки устаткування продуктивніше і налагоджується за уніфікованими груповими налагодженнями.

Із рис. 1.4 випливає, що коли $N_p < N_A$, то вигідніший і ефективніший перший варіант технологічного процесу, а якщо $N_p > N_A$, то ефективніший другий варіант як такий, що забезпечує меншу собівартість і більшу економію. Перехідну програму виробів N_A визначають із рівності собівартостей у точці А:

$$N_A = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2}.$$

Якщо $N_p = N_A$, доцільно вибрати перший варіант ТП, який потребує меншої реорганізації виробничих площ.

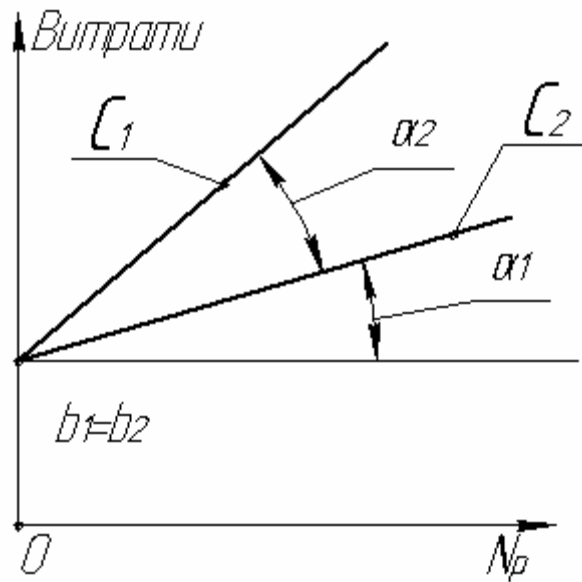


Рис. 1.3. Схема розподілу поточних витрат

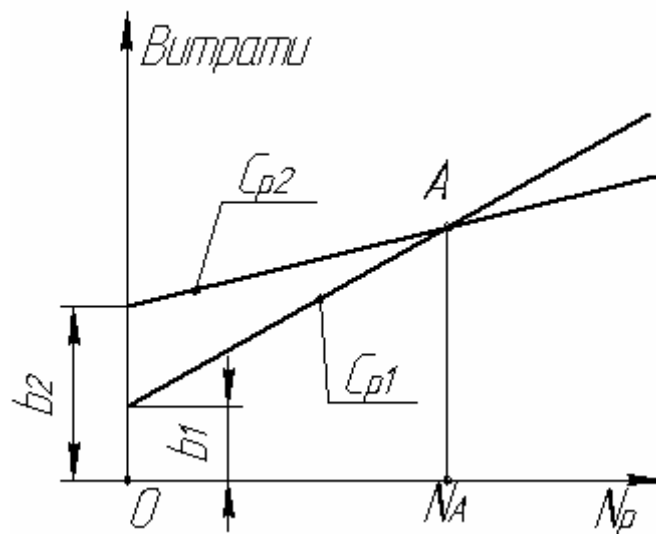


Рис. 1.4. Діаграма вибору найефективнішого варіанту технологічного процесу

Глава 2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ СКЛАДУВАНИХ ВИРОБІВ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Якість є основним показником будь – якого виробу. Вона визначає основні технічні та експлуатаційні характеристики виробу, можливості щодо працездатності, безвідмовності, точності та стабільності роботи. Особливе значення цей показник має у приладобудуванні, оскільки якість приладів визначає якісні характеристики об'єктів, де вони застосовуються.

Прилади – це засоби вимірювання або контролю різних параметрів, оцінки придатності певних характеристик механізмів або процесів, збирання необхідної інформації з метою діагностики та оцінки технічного стану та надійності різних пристроїв або технологічних процесів, автоматичного керування та регулювання процесами або пристроями, навігації та орієнтації об'єктів, які плавають, літають і т. ін.

Практично немає галузі діяльності людини де б не застосовувались прилади. І в усіх випадках якість приладів, їх точність і надійність роботи визначають в основному характеристики об'єктів або процесів, де вони використовуються, їх функціональність і можливості.

Якість – комплексний показник виробу, що має ряд вихідних характеристик, основними з яких є точність і надійність роботи. Вони забезпечуються на виробництві в процесі виготовлення та складання елементів виробу. У свою чергу, якість виробу визначається якістю технологічних процесів виготовлення, їх точністю і надійністю.

2.1. Надійність у приладобудуванні та її забезпечення на виробництві.

2.1.1. Основні уявлення про надійність

Надійність будь-якого виробу та технологічного процесу є одним з

найголовніших їх якісних показників. Згідно з ГОСТ 13377-74 під надійністю розуміють властивість виробу чи процесу зберігати працездатність протягом заданого часу, тобто повністю виконувати всі задані функції, витримувати основні вихідні параметри в заданих межах.

Надзвичайно важливе значення має надійність приладів у приладобудуванні, оскільки від цього залежать якісні показники об'єктів, де вони працюють. Разом з тим через велику складність і витонченість конструкції, численність зв'язків між різними блоками і ланцюгами прилади є пристроями з невисоким рівнем надійності. До того ж під час роботи прилади зазнають активної дії динамічних, температурних, хімічних та інших зовнішніх факторів.

Основні причини, які впливають на надійність роботи приладу:

1) конструкторські, коли в процесі розробки та проектування приладів закладається їх певна працездатність, чутливість до зовнішніх або внутрішніх перевантажень, кліматичних впливів. Чим складніший прилад, тим більше в ньому зв'язків, стиків і з'єднань, тим менша його надійність;

2) виробничі, які впливають на надійність приладів. У процесі виготовлення елементи приладу проходять різні операції від стадії заготовчого виробництва до остаточного складання у завершений виріб. Кожна операція має різний рівень надійності щодо якості отримуваних характеристик виробу через наявність багатьох виробничих похибок і дефектів, які мають очевидний або прихований характер. Така численність джерел породження дефектів виробу може призвести до втрати ним працездатності в період виробничих перевірочних випробувань або експлуатації;

3) експлуатаційні, коли через порушення нормальних режимів експлуатації, непередбачених перевантажень, різноманітні за характером впливи, неправильну профілактику системи приладу або неграмотну експлуатацію порушується його нормальна робота.

Оцінюючи надійність пристроїв, систем або технологічних процесів, згідно з ГОСТ 13377-75 використовують певні критерії.

Працездатність – це такий стан об'єкта, коли всі його характеристики (як основні, так і допоміжні) надійні згідно з технічними умовами.

Відмова – основна характеристика надійності об'єкта і є подією, коли об'єкт втрачає свою працездатність, тобто коли один або кілька його основних вихідних параметрів відмовляють за недопустимих відхилень або цілком припиняють функціонування.

Розрізняють такі різновиди відмов:

1. Повна відмова, коли повністю припиняється вся життєдіяльність даного об'єкта.
2. Часткова відмова, коли частина основних вихідних параметрів об'єкта втратила працездатність, а інші продовжують функціонувати.
3. Несподівана відмова, тобто стрибкоподібна зміна одного або кількох параметрів з різних внутрішніх або зовнішніх причин, яка розглядається як випадкова подія.
4. Поступова відмова, тобто плавна зміна вихідних параметрів за допустимих меж. Звичайно це пов'язане з виробленням ресурсу та спрацюваністю.
5. Дефект – певна причина відмови.
6. Перебій – відмова, яка самоусувається, тимчасовий зрив нормального режиму роботи через різку зовнішню дію.
7. Пошкодження – подія, за якої об'єкт продовжує працювати але втрачена справність.
8. Залежна відмова, яка виникає в об'єкті під впливом іншої відмови, що відбулася раніше.
9. Конструкторська відмова, тобто втрата працездатності через конструкторські проміри, недогляди.
10. Виробнича відмова, коли об'єкт втрачає працездатності через неякісне виконання технологічного процесу виготовлення, наявність прихованих дефектів.
11. Експлуатаційна відмова, коли об'єкт виходить з ладу через порушення умов експлуатації.

Час напрацювання – це тривалість збереження виробом працездатності в годинах.

2.1.2. Оцінка надійності виробів

Для оцінки надійності приладів або інших виробів застосовують такі основні кількісні показники:

1. Імовірність справної роботи – основний показник надійності будь-якого об'єкта. При цьому об'єкт має працювати за допустимих меж і повністю виконувати задані функції. Сучасні прилади є складними пристроями з різними за структурою елементами, колами та ланцюгами: кінематичними, електричними тощо. Тому вводять поняття загальної надійності всього приладу та надійності окремих його ланок.

Імовірність справної роботи всього приладу – це загальна надійність, а справність кожного його елемента – по елементна надійність. Кожний елемент працюючого приладу характеризується власним вихідним параметром $X(\tau)$ за часом роботи τ . За нормальної роботи цей параметр завжди має перебувати в допустимих межах

$$X_{min} \leq X(\tau) \leq X_{max}.$$

Імовірність виконання цієї умови протягом розглядуваного проміжку часу

$$P(\tau) = P(X_{\min} \leq X(\tau) \leq X_{\max}).$$

Якщо прилад розглядати як сукупність ряду робочих елементів загальною кількістю N , кожен з яких має власну імовірність справної роботи, то дістаємо систему рівнянь

[illegible]

Через можливість втрати надійності кожним елементом імовірність справної роботи будь-якого з них $P_i(\tau) \leq 1$. Оскільки відмова в роботі кожного елемента може призвести до втрати працездатності всього пристрою, загальна надійність його справної роботи

$$P(\tau) = P_1(\tau)P_2(\tau)\dots P_N(\tau) = \prod_{i=1}^N P_i(\tau). \quad (2.2)$$

У конструкціях приладів є деякі елементи або ланки, які звичайно протягом

усього ресурсу заданого технічними умовами робочого часу експлуатації не відмовляють, тобто вони мають абсолютну надійність. Це звичайно жорсткі корпуси, фланці, кришки, плати, вали, осі тощо. Імовірність їх безвідмовної роботи абсолютна і становить $P_i(\tau) \approx 1$.

Приклад. Пристрій має 10 основних елементів, з яких п'ять абсолютно надійні та імовірність їх справної роботи $P_1 = P_2 = \dots = P_5 = 1$. Надійність роботи інших елементів $P_6 = 0,98; P_7 = 0,98; P_8 = 0,97; P_9 = 0,96; P_{10} = 0,95$. Тоді загальна надійність $P(\tau) = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,96 \cdot 0,95 = 0,85$.

2. Інтенсивність відмов є другим основним показником надійності роботи виробу. Під інтенсивністю відмов $\lambda(\tau)$ розуміють відношення кількості приладів (або його окремих елементів) $n(\tau)$, які відмовили протягом певного проміжку часу $\Delta\tau$, до добутку кількості приладів у розглядуваній партії N (або загальної кількості елементів в одному приладі) на тривалість встановленого часу $\Delta\tau$:

$$\Delta\tau = \frac{n(\tau)}{N\Delta\tau} \quad (2.3)$$

Для уточнення розрахунків часто розмір партії приладів змінюють на середнє значення:

$$N_{cp} = 0,5(N_n(\tau) + N_k(\tau)),$$

де $N_n(\tau), N_k(\tau)$ - кількість приладів у партії відповідно на початку і в кінці розглядуваного проміжку часу $\Delta\tau$.

Аналогічні розрахунки можна виконати також щодо визначення інтенсивності відмов окремих елементів в одному приладі.

Дослідження надійності роботи різних пристроїв і приладів показали, що інтенсивність відмов за часом роботи має певну функціональну залежність (рис.2.1). У проміжку часу τ_1 на початку роботи помітне підвищення інтенсивності відмов через виявлення грубих помилок і дефектів виготовлення та складання даних виробів. Тому бажано час τ_1 відпрацювати у процесі виробничих випробувань, щоб усунути можливі дефекти. За подальшої роботи виробів, як випливає з графіка, інтенсивність відмов у часі майже не змінюється і носить монотонний рівний характер, коли відмови виникають через виявлення прихованих дефектів. При цьому

імовірність справної роботи

$$P(\tau) = e^{-\lambda(\tau)}, \quad (2.4)$$

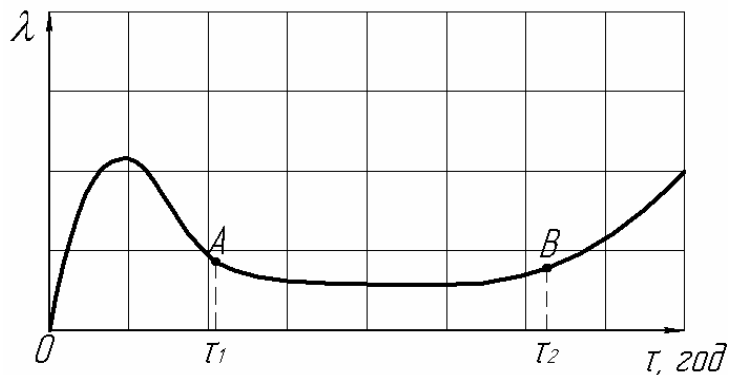


Рис. 2.1. Діаграма інтенсивності відмов
за часом роботи приладу

Після закінчення проміжку часу τ_2 спостерігається зростання інтенсивності відмов, що пояснюється повним виробленням ресурсу багатьма елементами пристрою, коли їх спрацьованість набуває критичного значення. У цьому проміжку часу експлуатація виробів уже недопустима.

3. Частота відмов також належить до основних показників надійності виробів і, як інтенсивність відмов, є відносною величиною, яка обчислюється аналогічно. Тільки для даного показника $\alpha(\tau)$ за розрахунковий час береться встановлений технічними умовами ресурс часу τ_p , який визначається за графіком:

$$\tau_p = \tau_1 + \tau_2.$$

Частота відмов

$$\alpha(\tau) = \frac{n(\tau_p)}{N\tau_p}, \quad (2.5)$$

де $n(\tau_p)$ - кількість елементів приладу, які відмовили протягом встановленого ресурсу часу τ_p .

За допомогою цього показника можна визначити потрібну кількість запасних частин на ресурс:

$$n(\tau_p) = \alpha(\tau)N\tau_p.$$

Якщо конструкція приладу занадто складна, містить багато складальних

одиниць і кілька комплексів, за показник надійності береться середня – імовірна сумарна інтенсивність відмов окремих блоків і комплексів:

$$\lambda_{\Sigma} = K \sqrt{\sum^q \lambda_i^2(\tau)} \quad (2.6)$$

де q – число блоків, кіл, комплексів у розглядуваному виробі; K - коефіцієнт імовірності одночасної відмови або кількості залежних відмов (для складних приладів $K=1,28\dots1,36$).

4. Середній час напрацювання – це середній час безвідмовної роботи в годинах будь-якого виробу (чистого робочого часу) або довговічності його служби до втрати роботоздатності. Цей показник і в наш час є одним з найпоширеніших і часто застосовується для порівняльної оцінки якості виробів на надійність. Він вважається найпростішим і об'єктивнішим і служить для визначення часу гарантованої служби виробу.

2.1.3. Надійність технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення приладів - найважливіший етап забезпечення їх надійної роботи, коли закладається певна працездатності кожного елемента і приладу в цілому. Вироби виготовляються послідовним виконанням певних технологічних процесів, які є основною частиною всього виробничого процесу, і, як визначається статистикою відмов різних приладів, через складність і наближеність до потрібного різновиду мають понижену надійність.

Технологічний процес повного циклу виготовлення будь-якого виробу складається з багатьох послідовно виконуваних різних технологічних операцій. Кожна з останніх - це складний перетворювальний процес із безліччю вхідних змінних характеристик, які перебувають у складній функціональній залежності. У результаті весь технологічний процес являє собою дуже розгалужену багато параметричну систему зі складними внутрішніми зв'язками і великою кількістю змінних збурюючих факторів як результату виробничих похибок, які є завжди (рис. 2.2). Процес формування потрібних параметрів якості виготовлюваного виробу Q_i за напрямком виконання операцій у такій складній системі пов'язаний зі

значними можливими відхиленнями і перебоями, що робить будь-який технологічний виробничий процес нестійким і малонадійним. Це потребує певних організаційних заходів щодо керування і стабілізації параметрів операцій і забезпечення їх необхідної надійності для одержання заданих показників якості.

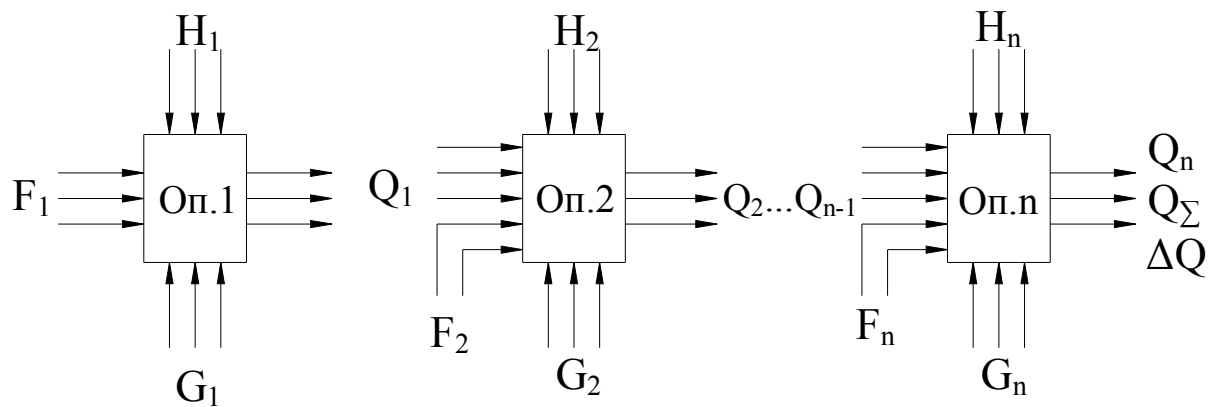


Рис.2.2. Структурна схема технологічного складального процесу

Під надійністю технологічного процесу розуміють здатність такої технологічної системи виконувати властиві їй функції, зберігаючи показники якості та ритм випуску продукції згідно з вимогами до даного виробу протягом заданого часу роботи. Надійність технологічної системи оцінюється такими показниками:

- працездатності, коли процес забезпечує виконання завдання щодо характеристик якості виготовлюваної продукції та параметрів продуктивності;
- довговічності, тобто середнім часом гарантованої працездатності процесу без перебоїв і відмов.

Технологічна надійність визначається в основному конструкцією виробу. У ході проектування виробу закладаються певні характеристики щодо надійності потрібних процесів його виготовлення. Чим складніша конструкція приладу, тим більше в ній різних кіл, блоків, зв'язків і з'єднань, чим більш чутливі до зовнішніх впливів характеристики, тим складніший процес виготовлення такого виробу. При цьому значно збільшується кількість потрібних операцій, залучається більше людей і різних технологічних систем та приладів, виробничих ланок і підрозділів, що призводить до зростання імовірності появи відхилень параметрів процесу, виникнення перебоїв, очевидних і прихованих дефектів виготовлюваної продукції.

На надійність технологічних процесів істотно впливає якість технологічної підготовки виробництва. Застосування недосконалих методів виготовлення та

складання, слабка проробка системи контролю та випробувань якості продукції, неправильне призначення технологічних режимів операцій, порушення технологічної дисципліни, необхідних нормативів та інструкцій призводять до різкого зниження надійності як технологічного процесу, так і виробів, які випускаються за його допомогою.

Операції технологічного процесу мають різну надійність, яка визначається за ступенем складності процесу, якістю перевірки правильності одержуваних параметрів, наочністю щодо напрямку проходження процесу, тобто якості організаційно-методичного та матеріально-технічного забезпечення.

Оскільки технологічний процес виготовлення продукції є послідовністю ряду незалежних технологічних операцій, які мають різні показники надійності, але взаємопов'язані спільним завданням щодо формування необхідної якості виготовлюваного виробу, то імовірність забезпечення таких показників якості протягом певного заданого-проміжку часу

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2.7)$$

де n - кількість усіх операцій у технологічному процесі; $P_i(t)$ - імовірність якісного виконання кожної технологічної операції протягом даного часу.

Приклад. Статистикою встановлено, що імовірність одержання браку на десяти операціях технологічного процесу складання блока приладу: на першій операції - 2%, на другій - 0, третій - 3%, четвертій - 0%, п'ятій - 5%, шостій - 0, сьомій - 3%, восьмій - 2%, дев'ятій - 5%, десятій - 2%. З умови випливає, що імовірність забезпечення потрібної якості на другій, четвертій і шостій операції абсолютна, тобто $P_i(t) = 1$, а на решті:

$P_3(t) = 0,97$; $P_5(t) = 0,95$; $P_7(t) = 0,97$; $P_8(t) = 0,98$; $P_9(t) = 0,95$; $P_{10}(t) = 0,98$. Тоді надійність забезпечення заданої якості на даному технологічному процесі

$$P(t) = 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,98 = 0,78.$$

Як зазначалося, під час виконання технологічних операцій завжди існує імовірність виникнення видимого або прихованого, тобто такого, який виявити дуже важко, дефекту. Так, в операціях паяння та склеювання міцність з'єднання елементів визначити непросто. Виникнення дефектів на операціях можна вважати випадковою

подією, оскільки вони є похідними від цілого ряду випадкових факторів. Водночас виникнення дефектів складання у виробі на кожній окремій операції незалежне. Тому моделюючи потік дефектів, можна вважати, що він найпростіший. Цей потік можна описати за розподілом Пуассона

$$P(D) = \frac{(n_i P_{i\partial})^k}{k!} e^{-n_i P_{i\partial}},$$

де n_i - число циклів повторення даної операції; $P_{i\partial}$ - імовірність внесення дефектів під час виконання будь-якої технологічної операції; k - кількість дефектів, внесених до виробу.

Кожний дефект на вихідні показники виготовлюваного виробу впливає по-різному. Тому математичне сподівання кількості дефектів у партії виробів під час виконання m_i технологічних операцій можна подати у вигляді

$$M_i = K_{ni} m_i P_{i\partial},$$

де K_{ni} - коефіцієнт впливу дефектів на зниження показників якості виробу, які вносяться, під час виконання технологічних операцій.

Імовірність виявлення дефекту не завжди абсолютна, оскільки контроль відбувається не за всіма показниками та місцями виробу та за обмеженого оснащення контрольно-вимірювальними засобами. Тому імовірність виявлення дефекту оцінити через коефіцієнт охоплення контролем місць можливого виникнення дефектів K_{ox} і коефіцієнт глибини контролю K_{gl} :

$$P_k = K_{ox} K_{gl}.$$

Коефіцієнт глибини контролю показує імовірність виявлення дефекту в певному місці за допомогою даного методу.

Надійність технологічного процесу складання можна оцінити відносним показником - імовірністю виходу придатної продукції P_{mn} відношенням кількості виготовлених придатних виробів до розміру партії виробів випущених у виробництво. Якщо розмір партії виробів, запущених у виробництво, позначити N , а число виробів, знятих зі складання після виявлення в них дефектів, M_i [див. (2.10)], то загальна надійність такого технологічного процесу

$$P_{mn} = \frac{N - M_i}{N} = 1 - \frac{M_i}{N}.$$

Приклад. У виробництво запустили партію виробів кількістю 100 шт. Після виконання всіх m_i технологічних операцій складання сім виробів через наявність дефектів не були прийняті ВТК на різних операціях, тобто зійшли з конвеєра. Імовірність виготовлення якісної продукції за такого процесу

$$P_{mn} = \frac{100 - 7}{100} = 0,93.$$

2.1.4. Шляхи підвищення надійності технологічних процесів

Щоб поліпшити якість виробів, які випускаються, у першу чергу треба підвищити надійність технологічних процесів за рахунок зменшення можливих відхилень і перебоїв, скорочення кількості дефектів на кожній операції. Є кілька шляхів підвищення надійності ТП. Наведемо основні з них.

1. Підвищення якості технологічної підготовки виробництва, коли запускають даний виріб. При цьому потрібно проаналізувати усі можливі причини відхилення характеристик процесу, виявити основні місця виникнення дефектів і з'ясувати систему заходів щодо зниження імовірності їх появи. Це може бути оптимальний за критерієм якості варіант послідовності технологічних операцій, ретельна система контролю за не безпечнішими з погляду надійності технологічними параметрами, добре обміркована система випробувань виробів, за допомогою якої можна виявити всі можливі приховані дефекти. Не менш важливим моментом при цьому є вибір найраціональнішого технологічного устаткування і приладів, чутливість і точність роботи яких дали б змогу просто і наочно встановити всі найдрібніші відхилення характеристик процесів складання, навіть якщо ці відхилення ще не спричиняють дефект операції.

2. Введення в технологічний процес операцій контролю якості одержуваних виробів або його окремих елементів на робочих складальних місцях або на спеціальних контрольно-випробних дільницях, призначених для виявлення дефектів виготовлення.

Кожна контрольна операція має свою імовірність виявлення дефекту $P_{ВД}$ і

кількість перебоїв у виявленні дефектів різко зростає зі збільшенням складності процесу контролю та погіршенням контролепридатності параметрів виробів, які перевіряються, коли застосовані для контролю методика та апаратура не можуть виявити всіх можливих відхилень характеристик приладів. Середнє значення імовірності виявлення дефектів на приладобудівних заводах коливається в межах $P_{ВД} = 0,75 \dots 0,95$.

У ході виконання операцій контролю імовірності якісного виходу виготовлюваної продукції значно зростає. Після i -ї операції така імовірність

$$P_{ік} = (1 - (1 - P_i))(1 - P_{ВД}) \quad (2.8)$$

де P_i – імовірність одержання виробів без дефекту.

Якщо придатність технологічного процесу складання виробів контролюється на кожній операції, то імовірність одержання якісної продукції

$$P_{ТПК} = \prod_{i=1}^n [(1 - (1 - P_i))(1 - P_{ВД})]_i \quad (2.9)$$

де n – число операцій у технологічному процесі.

Приклад. Розглянемо попередній приклад, коли процес має 10 операцій з імовірністю придатності продукції $P_1 = 0,98$; $P_2 = 1,0$; $P_3 = 0,97$; $P_4 = 1,0$; $P_5 = 0,95$; $P_6 = 1,0$; $P_7 = 0,97$; $P_8 = 0,98$; $P_9 = 0,95$; $P_{10} = 0,98$. Надійність процесу становила 0,78. У ході виконання контролю на кожній операції з імовірністю виявлення дефектів на всіх операціях $P_{ВД} = 0,9$ загальна імовірність виходу придатної продукції

$$\begin{aligned} P_{ТПК} = & [1 - (1 - 0,98) \cdot (1 - 0,9)] \cdot [1 - (1 - 1,0) \cdot (1 - 0,9)] \cdot [1 - (1 - 0,97) \cdot (1 - 0,9)] \cdot \\ & [1 - (1 - 1,0) \cdot (1 - 0,9)] \cdot [1 - (1 - 0,95) \cdot (1 - 0,9)] \cdot [1 - (1 - 1,0) \cdot (1 - 0,9)] \cdot \\ & [1 - (1 - 0,95) \cdot (1 - 0,9)] \cdot [1 - (1 - 0,98) \cdot (1 - 0,9)] \cdot [1 - (1 - 0,95) \cdot (1 - 0,9)] \cdot \\ & [1 - (1 - 0,98) \cdot (1 - 0,9)] = 0,978. \end{aligned}$$

На виробництві для підвищення надійності виявлення дефектів виготовлюваних виробів часто застосовують багатоступінчатий контроль. Так, крім операційного контролю самим робітником-виконавцем контроль виконує майстер дільниці та представник відділу технічного контролю. Іноді між операційний контроль виконує також контрольний майстер. Хоча й у цих випадках контроль має свою характеристику за кількістю перебоїв, загальна імовірність одержання

придатної продукції значно зростає і становить

$$P_{ТПК} = \prod_{i=1}^n \left[(1 - (1 - P_i)) \prod_{j=1}^m (1 - P_{ВДj}) \right]_i, \quad (2.10)$$

де m - число ступенів контролю кожної технологічної операції ТП.

Якщо імовірність виявлення дефектів на кожному ступені контролю однакова, то

$$P_{ТПК} = \prod_{i=1}^n \left[(1 - (1 - P_i)) (1 - P_{ВДi})^m \right]_i, \quad (2.11)$$

Із (2.10) і (2.11) випливає, що імовірність виходу якісної продукції значно зростає.

3. Проведення летючого контролю. Цей захід пов'язаний з проведенням періодичних перевірок дотримання технологічної дисципліни, якості документації та оснащення спеціальними комісіями з якості, до яких входять робітники цеху, представники ВТК, замовники, а іноді й представники служби контролю дотримання мір і стандартів держрймання. Такі разові перевірки дають змогу проводити профілактику роботи щодо підтримання належної уваги до якості виконавцями.

4. Метрологічне забезпечення виготовлення продукції. Забезпечення якості продукції на будь-якому виробництві неможливе без якісного метрологічного забезпечення. Під цим розуміють створення на виробництві комплексу заходів і спеціальних служб, призначених для методичного та матеріально-організаційного забезпечення всіх підрозділів виробництва єдиними методиками та засобами контролю виготовлюваної продукції, контролю за непошкодженістю і придатністю застосовуваних на виробництві контрольно-вимірювальних приладів і технологічного оснащення, а також систематичного вивчення дефектів на технологічних операціях, їх аналізу та вироблення певних заходів щодо зниження браку.

Метрологічні служби визначають систему контролю і випробувань, готують необхідну документацію за результатами вивчення якості та надійності кожної технологічної операції, стежать за дотриманням ЄСКД і ЄСТД та станом зразкових мір і приладів. Разом з представниками держрймання виробів такі служби несуть

безпосередню відповідальність за якість виробів, які випускаються.

2.2. Забезпечення точності складання

2.2.1. Основні уявлення про точність

Основні визначення показників точності виробів регламентує ГОСТ 1620-80, згідно з яким під точністю розуміють ступінь відповідності параметрів реально виготовленого виробу всім вимогам креслення і технічних умов. Ця відповідність визначається за розмірами або геометричними характеристиками виробу і його фізико-хімічними параметрами.

Розмірна, або геометрична, точність передбачає виконання у певних допустимих межах (допусках) таких важливих характеристик об'єкта:

- точність розмірів поверхонь, відстаней між ними, відстаней між осями чи іншими геометричними елементами виробу;
- точність взаємного розташування поверхонь або геометричних місць (осей, точок тощо);
- точність геометричної форми поверхонь або осей елементів виробу.

Точність виконання розмірів задається кресленнями до виробу, відповідними номінальними значеннями розміру l_0 і допуском δ на можливі відхилення справжнього розміру в межах заданого квалітету точності, які задаються верхнім (ВВ) і нижнім (НВ) відхиленнями.

Згідно ГОСТ 2.308-79 точність взаємного розташування поверхонь або осей задається на кресленнях лише допустимими відхиленнями за непаралельністю, не перпендикулярністю, не співвісністю, несиметричністю, не перетинанням осей тощо, а також допустимими відхиленнями від прямолінійності, площинності, круглоти, циліндричності, конусності тощо.

Дуже важливою у приладобудуванні є фізико-хімічна або параметрична точність, яка передбачає строго визначене виконання таких відомих технічних характеристик елементів, як міцність, жорсткість, пружність, електрична провідність, електроємність, індуктивність, магнітні та оптичні параметри та ін.

До них також належать амплітудно-частотні характеристики імпульсів, часові, силові, температурні параметри. До цієї категорії точності належить також точність дотримання хімічного складу матеріалу елемента виробу, його фазово-структурні характеристики та інші фізико-хімічні властивості.

Із сказаного випливає, що поняття точності виробу або його елемента дуже ємке з широким спектром оцінюваних характеристик, кожна з яких може мати власну точність виконання. Конструктор і технолог виходячи з умов роботи елемента у кожному конкретному випадку мають чітко визначити головні точності показники елемента і виділити їх на кресленні та технічних умовах, оскільки звичайно на виробництві через велику трудомісткість вимірювання контролюють лише основні, визначені параметри виробу.

Точність – це відносний показник, який оцінюють порівнянням справжнього значення параметра, наприклад, розміру деталі l_{∂} , з його заданим номінальним значенням l_0 . Не узгодженість між ними, тобто неточність:

$$\varepsilon = l_{\partial} - l_0$$

Якщо ця величина мала і дорівнює допуску δ на даний параметр ($\varepsilon \leq \delta$), то вона називається похибкою, а якщо $\varepsilon > \delta$, то це помилка виготовлення (брак виробу).

Причиною відхилень розмірних і фізичних характеристик при виготовленні виробів є неминучі похибки виробництва. Докладно питання точності виготовлення та визначення виробничих похибок розглянуто в інших розділах курсу технології приладобудування, присвячених технології виготовлення елементів приладу. Для кращого розуміння даного розділу наведено лише їх коротку характеристику.

За характером зміни в процесі виробництва виробничі похибки можна віднести до систематичних (детермінованих) або випадкових.

Систематичні, або детерміновані, похибки в процесі виготовлення партії деталей можуть залишатися сталими або змінюватися за відомими закономірностями, як, наприклад, прогресуючі або періодичні похибки.

Випадкові похибки в процесі виробництва мають випадковий характер, змінне періодичне значення і призводять до певного розсіяння справжнього значення розмірних або фізичних параметрів. Таке розсіяння залежно від конкретних умов

виробництва підлягає певним закономірностям, які можна наближено оцінити відповідними математичними функціональними залежностями з області теорії випадкових величин.

Так, у масовому приладобудуванні, коли потік деталей, виготовлюваних переважно автоматичним устаткуванням, великий, розсіяння розмірів такого розподілу має вигляд, показаний на рис. 2.3, і описується рівнянням Гауса, де функція

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - x_{cp})^2}{2\sigma^2}}. \quad (2.12)$$

Величина x_i може набувати будь-якого значення від $-\infty$ до $+\infty$. Густина імовірності випадкової величини при цьому залежить від двох параметрів - x_{cp} і σ :

$$x_{cp} = M(x) = \sum_{i=1}^n x_i / N,$$

де N - число деталей у партії;

σ - середнє квадратичне відхилення, яке є характеристикою закону випадкового розподілу і визначається формулою

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{cp})^2 / (N-1)}.$$

Імовірність знаходження будь-якого розміру x_i з усієї партії як випадкової величини в інтервалі $x_1 - x_2$ за нормального розподілу визначається виразом

$$P(x_1 \leq x_i \leq x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x_i - x_{cp})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

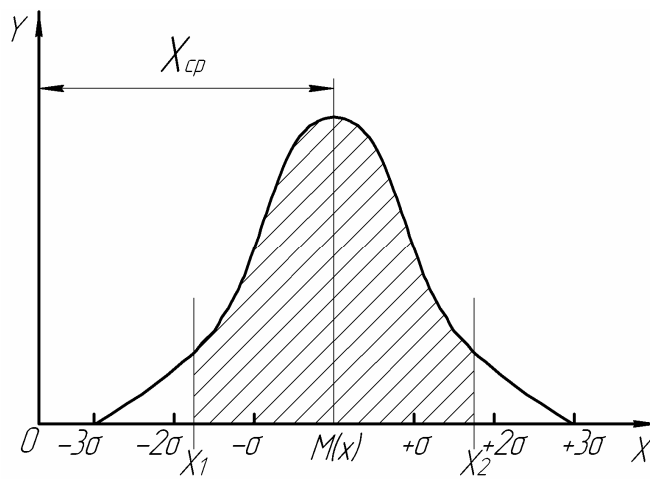


Рис. 2.3. крива нормального закону розподілу розмірів

Звичайно інтервали розподілу випадкової величини прийнято оцінювати через середню квадратичну σ . Тоді імовірність потрапляння випадкової величини на ділянках симетрично від x_{cp} :

$$P(x_{cp} - \sigma < x_i < x_{cp} + \sigma) = 0,6821;$$

$$P(x_{cp} - 2\sigma < x_i < x_{cp} + 2\sigma) = 0,9545;$$

$$P(x_{cp} - 3\sigma < x_i < x_{cp} + 3\sigma) = 0,9973.$$

Із наведених співвідношень випливає, що імовірність знаходження випадкової величини x_i поза інтервалом $(x_{cp} - 3\sigma), (x_{cp} + 3\sigma)$ дуже мала і дорівнює 0,0027. тому в технологічних розрахунках граничне відхилення випадкової величини за нормального розподілу беруть таким, що дорівнює $\pm 3\sigma$.

У серійному виробництві, коли деталі виготовляють на верстатах, налагоджених на партію деталей, і періодично їх підлагоджують, щоб компенсувати спрацьованість інструмента, розсіяння розмірів деталей підпорядковується в основному розподілу Релея. Крива такого розподілу має вигляд, показаний на рис. 2.4, а функція розподілу описується виразом

$$\varphi(x) = \frac{x_i}{\sigma_0^2} e^{-\frac{x_i^2}{2\sigma_0^2}}. \quad (2.13)$$

Середнє квадратичне σ_0 є характеристикою випадковості за даного розподілу і пов'язане з гаусівським співвідношенням $\sigma = 0,655\sigma_0$. Із графіка розподілу випливає, що максимальна щільність імовірності – екстремум кривої (її мода $M_0(x)$) - не збігається із середнім значенням розсіювання похибок $M(x)$, а це середнє значення випадкової похибки також зміщене щодо середини поля розподілу з координатою Δ_0 . Ця асиметрія визначається коефіцієнтом відносної асиметрії α :

$$\alpha = \frac{M(x) - \Delta_0}{\delta/2},$$

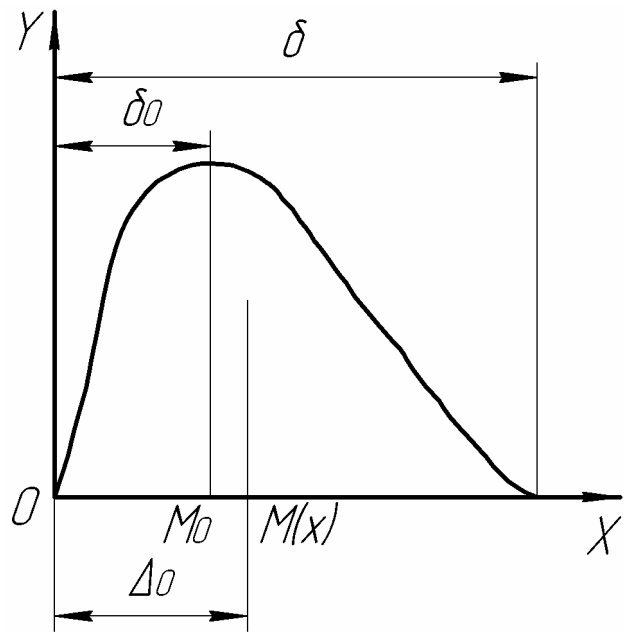


Рис.2.4. Крива розподілу Релея

де δ - допуск або задані межі розсіювання випадкової величини.

У дрібносерійному та одиничному виробництві звичайно виявляють розподіл за знаком рівної імовірності, який передбачає, що похибка виготовлення розміру деталі може бути будь-якою в заданому полі розподілу, обмежуваному допуском на цей розмір.

2.2.2. Аналіз точності процесу складання

Складність і трудомісткість отримання потрібної точності відхилених характеристик приладів у процесі складання в основному визначаються точністю виготовлення складальних елементів. На точність виготовлення впливають різні неминучі виробничі похибки, причиною яких є низька технологічна надійність виробничих процесів, їх нестабільність, різноманітність збурюючих факторів. Розрізняють такі похибки виготовлення елементів приладів:

1. Методичні похибки, які виникають через певні припущення або спрощення, зроблені технологом у процесі проектування технологічних процесів, наприклад, схемні похибки через наближеність схеми обробки до потрібної або похибки базування через наближеність установчої бази з вимірювальною. Такі

похибки виявляються як випадкові і не залежать від робітника-виготовлювача.

2. Похибки встановлення, які виникають через зміщення деталей на пристосуванні: у разі встановлення з зазором, незбіжності установочних поверхонь оброблюваної деталі та пристрою, а також пружних деформацій.

3. Похибки точності налагодження устаткування (верстатні). Такі похибки виникають тому, що ідеально точно встановити інструмент на кожній деталі партії неможливо, а також тому, що засоби вимірювання мають певні похибки реєстрації.

4. Похибки процесу механічної обробки, які виникають через відхилення елементів оброблюваної технологічної системи від потрібного ідеального положення. До них належать похибки самих верстатів, інструментів, їх спрацьованість, теплові та пружні деформації всієї системи в процесі обробки, вібрація системи та ін.

Додавання всіх зазначених виробничих похибок на деталях, які надходять до складання, дає результуючу сумарну похибку, змінює вхідні характеристики складальних елементів.

Складальний технологічний процес – це складна перетворювальна система у вигляді послідовних складальних операцій, яка відзначається низькою надійністю через наявність значної кількості змінних вхідних характеристик (див. рис. 2.2). На кожну складальну операцію надходять різні складальні елементи з певним відхиленням (похибками) розмірів і взаємного розміщення поверхонь, що є причиною порушення правильного розміщення складальних баз. На рис. 2.2 такі вхідні характеристики позначено параметрами $F_1, F_2, \dots, F_n$, які мають певні похибки $\Delta F_1, \Delta F_2, \dots, \Delta F_n$ (де n – число операцій складання). Процес складання виконується на певному устаткуванні певними інструментами із застосування різних матеріалів (вхідні параметри $G_1, G_2, \dots, G_n$), які також можуть мати власні похибки чи відхилення $\Delta G_1, \Delta G_2, \dots, \Delta G_n$.

Як результат дії всіх змінних вхідних параметрів або характеристик, зміна яких у процесі складання через переміщення деталей на складі та при транспортуванні має випадковий характер, вихідні показники точності кожної операції складання $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ також мають відхилення у вигляді похибок випадкового характеру – $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_n$. При цьому похибки складання попередніх

операцій можуть впливати на точність виконання подальших операцій і тоді ΔQ_1 також буде збурюючим фактором для другої операції, а ΔQ_2 – для третьої і т.д.

Таке послідовне формування похибки виробу, який складається, може призвести до того, що вихідні параметри приладів матимуть відхилення, які перевищуватимуть допустимі. Щоб компенсувати похибки складання та керування точністю технологічних операцій, на виробництві застосовують певні методи складання, керуючі вектори яких позначено на рис. 2.2 вхідними параметрами $H_1, H_2, \dots, H_n$.

Під методом складання розуміють певний комплекс заходів і робіт щодо забезпечення заданої точності вихідних характеристик складальних деталей. Різні вимоги щодо точності характеристик приладів, а також різні властивості цих характеристик за складністю вимірювання й одержання потребують різного підходу до організації таких методів, різної складності робіт щодо їх забезпечення. У приладобудуванні в основному застосовують п'ять методів забезпечення необхідної точності складання:

1. Метод повної взаємозамінності.
2. Метод неповної взаємозамінності.
3. Метод забезпечення точності добором.
4. Метод забезпечення точності регулюванням.
5. Метод забезпечення точності із застосуванням доробки, пригонки.

Кожний із перелічених методів складання має забезпечувати для певних умов виробництва й вимог точності виробу необхідну в цьому випадку взаємозамінність. Під взаємозамінністю розуміють здатність деталі чи складальної одиниці виробу замінити аналогічний елемент без порушення вихідних характеристик виробу.

У приладобудуванні мають справу із забезпеченням як розмірної так і параметричної взаємозамінності. Забезпечуючи розмірну взаємозамінність, потрібно одержати в процесі складання певну точність взаємного розташування поверхонь складальних елементів (розмірів, зазорів, натягів, величин переміщення, кутового положення тощо). Забезпечуючи параметричну взаємозамінність, слід одержати певне значення якогось параметра. Якщо в першому випадку доводиться мати справу з простими лінійними (або кутовими) залежностями, то в другому

найчастіше стикаються зі складними функціональними залежностями, іноді навіть із неочевидними зв'язками, що робить метод забезпечення цієї взаємозамінності складнішим.

Вирішуючи дані проблеми на виробництві, доводиться мати справу з двома завданнями (ГОСТ 1619-80) - прямим і оберненим. Пряме завдання передбачає визначення точності вихідного параметра складальної одиниці чи окремого елемента за заданою точністю елементів, які складаються.

Розв'язуючи обернене завдання, треба встановити точність на складальні елементи, виходячи із заданої точності вихідної характеристики пристрою. Таке завдання типовіше для реального виробництва.

2.2.3.Забезпечення розмірної взаємозамінності

Забезпечення розмірної, або геометричної, взаємозамінності – типове завдання при складанні механічних ланцюгів механізмів, яке ґрунтується на розрахунку розмірних ланцюгів (ГОСТ 1619-80).

Розмірним ланцюгом (РЛ) називається сукупність (або скінченна множина) розташованих за замкненим контуром у певній послідовності розмірів, які координують взаємне розміщення поверхонь або осей однієї або кількох деталей.

Розглянемо приклад РЛ на механічному пристрої, схематично показаному на рис. 2.5,а. На схемі вузла проставимо розміри $A_1, A_2, \dots, A_7$, які визначають значення та взаємне положення його елементів, розмір одержаного зазору $A_{зам}$. Ланка РЛ, яка отримується останньою в процесі складання механізму, називається замикаючою. Розміри, які входять до розмірного ланцюга і визначають значення замкненої ланки, називаються складовими ланками ланцюга. Оскільки їх вплив на $A_{зам}$ у разі збільшення різний, то вони поділяються на ті, що збільшують, і ті, що зменшують.

Ланками, що збільшують, є такі, в разі збільшення яких розмір замикаючої ланки збільшується; ланками, що зменшують, є такі, в разі збільшення яких розмір замикаючої ланки зменшується.

Основні властивості РЛ:

- розмірний ланцюг має бути завжди замкненим;

- може мати тільки одну замикаючу ланку;
- зміна розміру будь-якої складової ланки РЛ спричинює зміну положення інших ланок і розміру замикаючої ланки.

На основі останньої властивості формується правило добору розмірів, які входять до РЛ: до даного розмірного ланцюга входять тільки ті розміри, які, змінюючись, змінюють розмір замикаючої ланки(за умови постійності решти ланок). Так, на рис. 2.5 усі розміри, крім A_7 , змінюють $A_{зам}$ і входять до шуканого РЛ. Щоб зручніше та наочніше вирішити РЛ, зображують його графічно так, як показано на рис. 2.5,б.

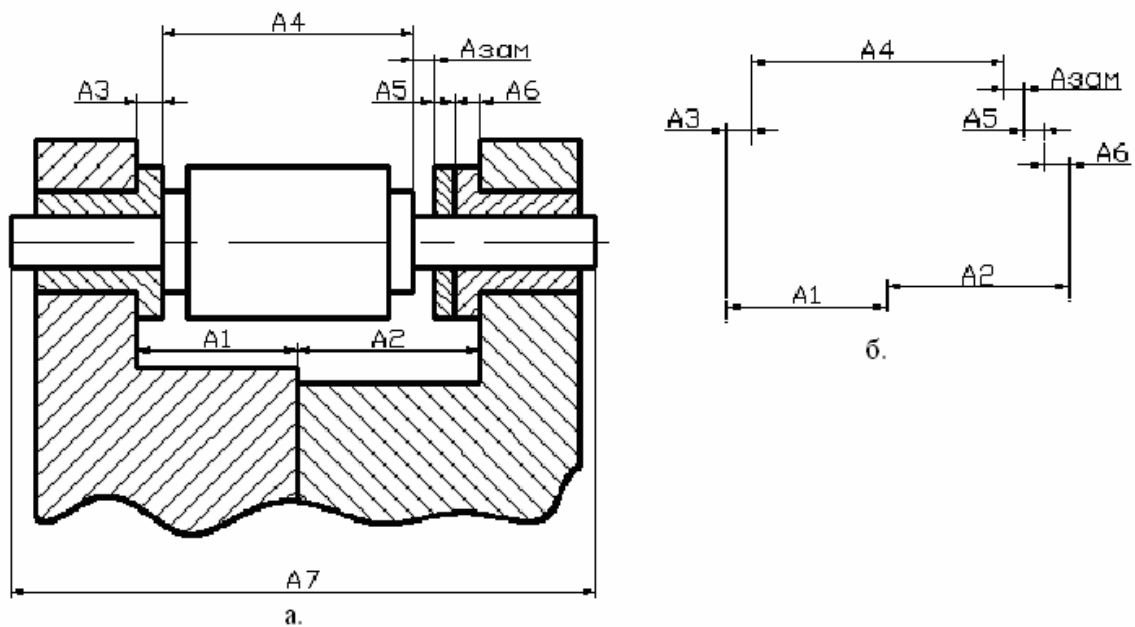


Рис.2.5. Схема розмірного ланцюга:
а – приклад РЛ на механічному пристрої; б – схематичне зображення РЛ

Згідно з наведеним правилом розміри A_1 і A_2 є такими, що збільшують $A_{зам}$, а решта (A_3, A_4, A_5, A_6) є такими, що зменшують $A_{зам}$. На рис. 2.5 зображено плоский лінійний РЛ. У техніці зустрічаються також криволінійні, об'ємні та інші РЛ.

Вирішити розмірний ланцюг – це означає визначити номінальне значення замикаючої ланки і забезпечити її необхідну точність. У наведеному прикладі величина замикаючої ланки

$$A_{зам} = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4 + A_5 + A_6).$$

Оскільки першу суму складають розміри, що збільшують замикаючу ланку, а

другу – розміри, що зменшують її, то в загальному вигляді

$$A_{зам} = \sum_1^n A_{i3B} - \sum_1^q A_{j3M}, \quad (2.14)$$

де n – число ланок РЛ, що збільшують; q – число ланок РЛ, що зменшують;
 $(n+q)=m-1$; m – число всіх ланок.

Таким чином, величина замикаючої ланки є функціональною залежністю від усіх складових:

$$A_{зам} = \varphi(A_1, A_2, \dots, A_{m-1}).$$

При цьому величини $A_1, A_2, \dots$ є незалежними змінними, між якими існує лінійний прямий зв'язок. Тоді похибка замикаючої ланки $\Delta A_{зам}$ пов'язана з похибками ланок також прямою лінійною сумарною залежністю

$$\Delta A_{зам} = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_{m-1} = \sum_1^{m-1} \Delta A_i, \quad (2.15)$$

де $\Delta A_1, \Delta A_2, \dots$ – похибки складових ланок РЛ.

2.2.3.1. Метод повної взаємозамінності

Даний метод передбачає забезпечення необхідної точності складання за будь-яких можливих гранично допустимих відхилень розмірів деталей, які входять до єдиного розмірного ланцюга.

У ході організації складання цей метод є найпростішим, він не потребує додаткових налагоджувально-регулювальних робіт і зводиться до звичайного стикування та послідовного з'єднання деталей даної складальної групи або виробу в цілому. Метод не забезпечує високої точності складання.

Оскільки гранично можливі похибки розмірів виготовлення деталей, за умови придатності продукції дорівнюють відповідним межам допусків у їх абсолютному значенні, тобто $\Delta A_1 = |\delta_1|$; $\Delta A_2 = |\delta_2|$, ...; $\Delta A_{m-1} = |\delta_{m-1}|$, то в разі переходу до допусків згідно з (2.15) за даного методу складання має справджуватись умова

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|, \quad (2.16)$$

де $\delta_{зам}$ - допуск замикаючої ланки.

Визначати точність складальних елементів зручніше починати з розгляду прямого завдання.

Пряме завдання

У цьому разі відомі допуски на розміри складових ланок $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{m-1}$. Визначити результуючу точність замикаючої ланки або знайти її допуск $\delta_{зам}$. Існують три методи розв'язання цього завдання.

Координатний метод. Допуск визначаємо за рівнянням (2.16)

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|$$

як арифметичну суму всіх меж допусків розмірів складових ланок. Потрібно визначити його розміщення відносно нульової лінії номінального розміру $A_{зам}$.

Таке розміщення визначається координатами його відхилень: верхнього (ВВ) і нижнього (НВ). Щоб знайти їх, використовуємо координати середин меж допусків K_i усіх ланок РЛ.

Координати середини допуску замикаючої ланки

$$K_{зам} = \sum_{i=1}^n K_{i\ 3Б} - \sum_{j=1}^q K_{j\ 3М}, \quad (2.17)$$

де $K_{j\ 3Б}$, $K_{j\ 3М}$ - координати середин меж допусків ланок відповідно що збільшують і зменшують, беруть зі своїми знаками, тобто збільшують алгебраїчні суми координат.

Відхилення допуску замикаючої ланки

$$\begin{aligned} (ВВ)_{зам} &= K_{зам} + 0,5 \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|; \\ (НВ)_{зам} &= K_{зам} - 0,5 \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|, \end{aligned} \quad (2.18)$$

де $K_{зам}$ - координати середини зі своїм знаком.

Приклад. Вирішимо розмірний ланцюг з параметрами, наведеними у вигляді таблиці :

Ланки, які збільшують			Ланки, які зменшують		
A_i	δ_i	K_i	A_i	δ_i	K_i
20	± 0.03	0	15	-0.05	-0.025
10	-0.1	-0.05	10	+0.05	+0.025

За (2.14) номінальне значення

$$A_{зам} = (20 + 10) - (15 + 10) = 5 \text{ мм.}$$

За (2.16) допуск замикаючої ланки

$$\delta_{зам} = 0,06 + 0,1 + 0,05 + 0,05 = 0,26 \text{ мм.}$$

За (2.17) координата середини $\delta_{зам}$

$$K_{зам} = (0 - 0,05) - (0,025 + 0,025) = -0,05.$$

За (2.18) граничні відхилення

$$(BB)_{зам} = -0.05 + 0.5 \cdot 0.26 = +0.08 ;$$

$$(HB)_{зам} = -0.05 - 0.5 \cdot 0.26 = -0.18.$$

Таким чином, одержимо остаточну відповідь :

замикаюча ланка $5_{-0.18}^{+0.08}$ мм.

Екстремальний метод з урахуванням номіналів. На виробництві він називається методом “максимуму-мінімуму”. Спочатку визначається розмір замикаючої ланки за виразом (2.14).

Максимальне та мінімальне значення замикаючої ланки

$$A_{зам}^{max} = \sum_1^n A_{i3B}^{max} - \sum_1^q A_{j3M}^{min} ; \quad (2.19)$$

$$A_{зам}^{min} = \sum_1^n A_{i3B}^{min} - \sum_1^q A_{j3M}^{min} ,$$

де суми максимальних і мінімальних величин ланок, які збільшують і зменшують, беруть з урахуванням їх номінального значення.

Верхнє та нижнє відхилення допуску замикаючої ланки

$$(BB)_{зам} = A_{зам}^{max} - A_{зам} ; \quad (2.20)$$

$$(HB)_{зам} = A_{зам}^{min} - A_{зам} .$$

Приклад. Вирішимо розмірний ланцюг екстремальним методом з урахуванням номіналів, користуючись даними попереднього прикладу.

Номінальне значення

$$A_{зам} = (20 + 10) - (15 + 10) = 5 \text{ мм.}$$

За (2.19) максимальне та мінімальне значення

$$A_{зам}^{max} = (20.03 + 10) - (14.95 + 10) = 5.08;$$

$$A_{зам}^{min} = (19.97 + 9.9) - (15 + 10.05) = 4.82.$$

За (2.20) граничні відхилення

$$(BB)_{зам} = 5.08 - 5 = +0.08 ;$$

$$(HB)_{зам} = 4.82 - 5 = -0.18.$$

Таким чином, замикаюча ланка $5_{-0.18}^{+0.08}$ мм.

Метод хоча й простіший за попередній, але загромождений розрахунками та великими дробовими цифрами.

Екстремальний без номінальний метод. Цей метод найпростіший і рекомендується виробництву. У разі застосування методу визначають $(BB)_{зам}$ і $(HB)_{зам}$;

$$(BB)_{зам} = \sum_1^n (BB_i)_{зБ} - \sum_1^q (HB_j)_{зМ} ; \quad (2.21)$$

$$(HB)_{зам} = \sum_1^n (HB_i)_{зБ} - \sum_1^q (BB_j)_{зМ} ;$$

де (BB) і (HB) - верхнє і нижнє відхилення допусків складових ланок, які взято зі своїми знаками.

Очевидно, що даний метод самий технологічний і простий у застосуванні.

Приклад. розв'яжемо попередній приклад за допомогою без номінального екстремального методу. Визначаємо

$$(BB)_{зам} = (+0.03 + 0) - (-0.05 + 0) = +0.08 ;$$

$$(HB)_{зам} = (-0.03 - 0.1) - (0 + 0.05) = -0.18.$$

Таким чином, одразу знайдемо $A_{зам} : 5_{-0.18}^{+0.08}$ мм.

Обернене завдання

У цьому разі виходячи з умов роботи виробу технічними умовами задають точність замикаючої ланки РЛ, тобто потрібну кінцеву точність складання. Слід визначити допуски на складові ланки, що забезпечують цю точність вихідного параметра, методом повної взаємозамінності простим стикування деталей. Це завдання на виробництві розв'язують за допомогою двох методів.

Метод рівності допусків. У простих розмірних ланцюгах із сумірними розмірами (тобто приблизно однаковими) допуски складових ланок беруться однаковими і прирівнюються до середнього допуску: $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_{cp}$. Тоді згідно з (2.16)

$$\delta_{cp} = \delta_{зам} / m - 1.$$

Але в більшості випадків цей простий метод мало застосовується через несумірність розмірів, оскільки це призводить до значного розбігу квалітетів точності виготовлюваних елементів РЛ, що недопустимо.

Метод рівності квалітетів точності. Цей метод дає змогу оцінити точність складових елементів з урахуванням їх несумірності з використанням стандартних таблиць допусків квалітетів точності. Згідно з ГОСТ 25346-82 будь-який допуск для розмірів від 1 до 500 мм визначається виразом

$$\delta = ai,$$

де a – число одиниць допусків, встановлене в кожному квалітеті точності (тобто a встановлює зв'язок допуску з квалітетом); i – величина одиниці поля допуску, що пов'язує допуск з номінальними розмірами ланок, мкм:

$$i = 0.45\sqrt[3]{A} + 0.001A;$$

A – номінальний розмір, мм.

Виходячи з умови рівності квалітетів у всіх ланках РЛ маємо $a_1 = a_2 = \dots = a_{m-1} = a_{cp}$. Тоді на основі (2.16) одержимо рівність

$$\delta_{зам} = a_{cp} \sum_{j=1}^{m-1} i_j.$$

Орієнтовне число одиниць для РЛ

$$a_{cp} = \frac{\delta_{зам}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j} = \frac{\delta_{зам} \cdot 10^3}{\sum_{j=1}^{m-1} (0.45\sqrt[3]{A_j} + 0.01A_j)} . \quad (2.22)$$

Одержаний результат коректують за табличним значенням a_T (табл. 2.1), беручи найближче.

Таблиця 2.1

Квалітет	IT5	IT6	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
Число	7	10	16	25	40	64	100	160	250

Далі з таблиці допусків за одержаним квалітетом точності знаходять допуски на складові ланки і згідно з посадкою беруть знаки їх відхилень. Унаслідок коректування числа одиниць ($a_{cp} \rightarrow a_T$) виникає розузгодження між допуском замикаючої ланки та сумою допусків інших ланок, тобто порушується рівність (2.16). Тому одну із складових ланок вважають компенсуючою і допуск на неї визначають за виразом

$$\delta_K = \delta_{зам} - \sum_{i=1}^{m-2} |\delta_i|.$$

Верхнє і нижнє відхилення допуску компенсуючого розміру A_K визначаються координатним методом допусків із рівняння зв'язку між координатою середин допусків замикаючої ланки і складових ланок (2.17):

$$K_K = \pm(K_{зам} - (\sum K_{i3B} - \sum K_{j3M})) \quad (2.23)$$

(знак “+” беруть тоді, коли компенсуюча ланка A_K є збільшуючою, знак “-” – якщо вона зменшуюча).

Суми координат середин допусків складових ланок беруться без урахування компенсатора. Його верхнє та нижнє відхилення допуску

$$\begin{aligned} (BB)_K &= K_K + 0.5\delta_K; \\ (HB)_K &= K_K - 0.5\delta_K. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Приклад. Задано замикаючу ланку і необхідну на неї точність: $A_{зам} = 3 \pm 0.1$.

Розмірний ланцюг складають відповідні ланки:

- збільшуючі (64 мм і 8 мм);

- зменшуючі (66 мм і 3 мм).

Величина одиниці поля допуску i для кожної ланки: $i(64)=2.44$ мм; $i(8)=0.98$ мм; $i(66)=2.478$ мм; $i(3)=0.678$ мм. Згідно з (2.22) $\sum i = 6.576$.

За (2.22) середнє число одиниць

$$a_{cp} = 0.2 \cdot 10^3 / 6.576 = 30.413.$$

За табл. 2.1 беремо 1Т8, де $a_T = 25$.

За таблицею допусків знаходимо допуски на складові елементи, приймаємо посадки Н8 і $h 8$; при цьому, не маючи креслень, позначимо їх довільно:

$$64_{-0.046}^0; 8_0^{+0.022}; 66_{-0.046}^0.$$

Зменшуючи ланку (3 мм) беремо як компенсуючу і визначаємо на неї допуск і граничні відхилення. Допуск компенсуючою ланки

$$\delta_K = 0.200 - (0.046 + 0.022 + 0.046) = 0.086 \text{ мм.}$$

За (2.23) координата середини для зменшуючої ланки

$$K_K = -0 - ((-0.023 + 0.011) - (-0.023)) = +0.011.$$

За (2.24) знаходимо відхилення:

$$(BB)_K = +0.011 + 0.043 = +0.054;$$

$$(HB)_K = +0.011 - 0.043 = -0.032.$$

Таким чином, зменшуюча компенсуюча ланка $3_{-0.032}^{+0.054}$ мм.

Перевіримо одержаний результат, застосувавши найраціональніший метод. Згідно з (2.21)

$$(BB)_{зам} = (0 + 0.022) - (-0.046 - 0.032) = +0.100;$$

$$(HB)_{зам} = (-0.046 + 0) - (0 + 0.054) = -0.100.$$

Отже, завдання розв'язано вірно.

Допуск компенсуючою ланки, точніше її граничні відхилення, можна визначити простіше, використавши екстремальний без номінальний метод, за виразом (2.21). Виконавши відповідні дії, можна знайти:

якщо компенсатор є збільшуючою ланкою, то

$$(BB)_{K3B} = \left[(BB)_{3aM} - \left(\sum_1^{n-1} (BB)_{3B} - \sum_1^q (HB)_{3M} \right) \right]; \quad (2.25)$$

$$(HB)_{K3B} = \left[(HB)_{3aM} - \left(\sum_1^{n-1} (HB)_{3B} - \sum_1^q (BB)_{3M} \right) \right];$$

якщо компенсатор є зменшуючою ланкою, то

$$(BB)_{K3M} = \left[(HB)_{3aM} - \left(\sum_1^n (HB)_{3B} - \sum_1^{q-1} (BB)_{3M} \right) \right]; \quad (2.26)$$

$$(HB)_{K3M} = \left[(BB)_{3aM} - \left(\sum_1^n (BB)_{3B} - \sum_1^{q-1} (HB)_{3M} \right) \right].$$

Приклад. Розв'яжемо попереднє завдання, використовуючи екстремальний безномінальний метод, коли задано $A_{3aM} = 3 \pm 0.1$, розміри відповідних ланок 64, 8, 66 і 3. Визначимо допуски на ланки і компенсатор, який є зменшуючою ланкою (3 мм). Допуски на розміри приймаємо аналогічно попередньому прикладу:

$$64_{-0.046}^0; 8_0^{+0.022}; 66_{-0.046}^0.$$

Відхилення допуску компенсатора за (2.26)

$$(BB)_{K3M} = -[(-0.1) - ((-0.046 + 0) - 0)] = +0.054;$$

$$(HB)_{K3M} = -[(+0.1) - ((0 + 0.022) - (-0.046))] = -0.032.$$

Таким чином, знайдено компенсуючу ланку та її точність: $3_{-0.032}^{+0.054}$.

Результат аналогічний попередньому прикладу.

2.2.3.2. Метод неповної взаємозамінності

Метод неповної взаємозамінності дає змогу, не порушуючи точності складання, збільшити допуск на виготовлення складальних елементів і тим самим значно здешевити їх виробництво. Найбільшу ефективність даний метод забезпечує в масовому виробництві.

За організацією точності складальних робіт цей метод нагадує метод повної взаємозамінності, тобто зводиться до звичайного стикування та з'єднання елементів, які складаються, без регулювання або пригонки потрібної точності. Але оскільки за даного методу з'являється імовірність, хоча й невелика, одержання

вихідної точності в деяких виробів або його елементів, яка не задовольняє вимогам технічних умов, то він дістав назву методу неповної взаємозамінності.

Забезпечення точності складання цим методом ґрунтується на тому, що до складання надходять деталі, справжні розміри яких виконані не за граничними значеннями, як передбачалося за повної взаємозамінності, а розсіяні під час виготовлення в межах допусків через наявність виробничих похибок. Під час складання розміри складальних деталей є випадковими величинами, в результаті чого розмір замикаючої ланки, або вихідна точність складання, також буде величиною випадковою. Характер виявлення та закони розподілу цих випадкових характеристик підпорядковані певною мірою законам випадкових величин. Унаслідок цього метод ґрунтується на положеннях теорії імовірності та її основних закономірностях. Згідно із законом імовірності похибку замикаючої ланки, що вийшла в результаті складання, можна подати як певну суму випадкових похибок ε_i розмірів складових ланок, зібраних у даний ланцюг:

$$\varepsilon_{\text{зам}} = \sqrt{\sum \varepsilon_i^2}.$$

Величина розсіяння розмірів замикаючих ланок у партії, яку складають, визначить похибку складання $\Delta_{\text{зам}}$, яка пов'язана з величиною розсіяння розмірів складових ланок Δ_i співвідношенням

$$\Delta_{\text{зам}} \approx \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \Delta_i^2}.$$

Порівняльний аналіз такої похибки замикаючої ланки із заданим на неї допуском $\delta_{\text{зам}}$ показує, що $\Delta_{\text{зам}} < \delta_{\text{зам}}$.

Одержання вищої точності складання, ніж це потрібно за умови на виріб на виробництві, пояснюється двома факторами.

1. При складанні великої партії виробів переважна більшість складальних елементів має розмірні характеристики, близькі до середнього значення допусків, через що значення замикаючої ланки усереднюється.

2. При складанні завжди існує імовірність взаємної компенсації похибок складових ланок, яка також призводить до підвищення точності складання та усереднення значення замикаючої ланки.

Тому у велико серійному та масовому виробництві, де згідно з дослідженнями М. Бородучова, закони розподілу випадкових похибок близькі до нормального (рис. 2.6 крива І), похибка замикаючої ланки $\Delta_{зам} < \delta_{зам}$ і зони А та В допуску практично мало задіяні. Надається можливість, збільшити допуски на розміри складальних елементів, що знизить собівартість їх виготовлення. Таке збільшення допустиме в межах коефіцієнта збільшення

$$\beta = \delta_{зам} / \Delta_{зам}.$$

Щоб правильно його знайти, потрібно точно обчислити значення $\Delta_{зам}$, виходячи з конкретних умов виробництва.

Величина розсіювання розмірів замикаючої ланки $\Delta_{зам}$ як випадкова визначатиметься своєю характеристикою - середньою квадратичною $\sigma_{зам}$, пов'язаною з $\Delta_{зам}$ співвідношенням

$$\Delta_{зам} = t \sigma_{зам} \quad (2.27)$$

де t - числовий коефіцієнт точності розподілу, що приймається (на виробництві звичайно приймають $t=6$ ($\Delta = 6\sigma$) і називають коефіцієнтом ризику). За нормального розподілу похибок ризик одержання бракованої продукції становить 0,27%.

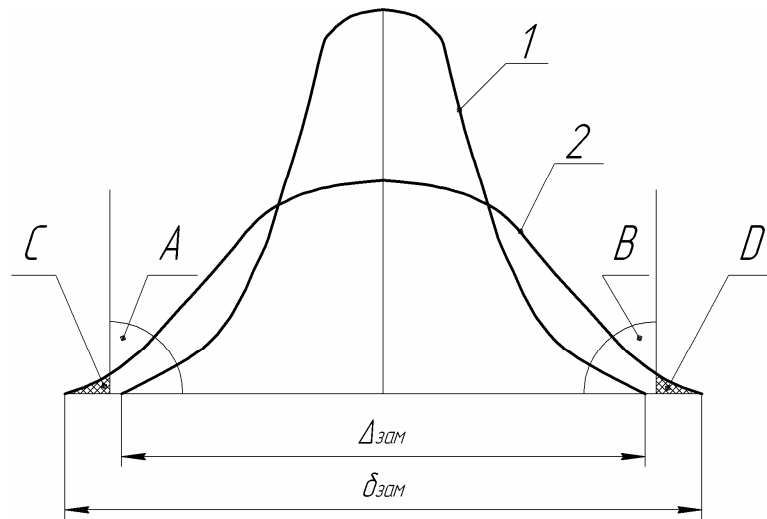


Рис. 2.6. Схема розподілу випадкових похибок замикаючої ланки при складанні

Водночас середня квадратична $\sigma_{зам}$ розподілу похибок замикаючої ланки визначатиметься середніми квадратичними розподілів похибок складових ланок, тобто буде їх функцією: $\sigma_{зам} = \varphi(\sigma_i)$. Як величина випадкова $\sigma_{зам}$ визначається виразом квадратичної суми:

$$\sigma_{зам}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_{m-1}^2, \quad (2.28)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{m-1}$ - середні квадратичні розподілів розмірів складових ланок. Ці характеристики можна знайти з виразів відносного закону розподілу λ_i , який ураховує зв'язок між заданими допусками на розміри складових ланок δ_i і середніми квадратичними їх розподілу σ_i у процесі виготовлення за конкретних умов виробництва:

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_1}{\delta_1}; \lambda_2 = \frac{\sigma_2}{\delta_2}; \dots; \lambda_{m-1} = \frac{\sigma_{m-1}}{\delta_{m-1}}; \quad (2.29)$$

Різновид закону і форма розподілу розмірів при виготовленні деталей на виробництві визначається в основному методом налагоджування верстатів на необхідний розмір обробки, а метод такого налагоджування вибирається залежно від масштабу і типу виробництва.

Так, у дрібносерійному виробництві (партія деталей мала) застосовують налагоджування верстата на кожну деталь методом "пробних вимірів", через що розподіл (розсіяння) справжніх розмірів деталей одержують в основному за законом однакової імовірності, коли $\lambda = 1/3,5$.

У серійному виробництві (партія деталей середня) звичайно застосовують метод налагоджування верстата попередньо на партію, але з періодичним під налагоджуванням і уточненням розміру через спрацювання інструмента, і закон розподілу похибок у цьому разі близький до асиметричного закону Релея (див. рис. 2.4), коли $\lambda = 1/5$.

У велико серійному або масовому виробництві (партії оброблюваних деталей великі) застосовують в основному автоматичне устаткування з налагоджуванням методом автоматичного перенесення розміру з еталонної деталі. При цьому розсіяння розмірів виготовлюваних деталей через виробничі похибки підпорядковується звичайно нормальному закону або близькому до нього. Коефіцієнт розрахунку розподілу (закон відносного розподілу) $\lambda = 1/6$.

Оскільки розмір партії всіх складових ланок однаковий, то можна вважати, що

$$\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \dots \approx \lambda_{m-1} = \lambda .$$

З рівнянь (2.27) знайдено середні квадратичні та підставимо їх у (2.28):

$$\Delta_{зам}^2 / t^2 = \sum_1^{m-1} \lambda^2 \delta_i^2 .$$

З одержаного співвідношення визначаємо точне значення похибки складання замикаючих ланок у даній партії виробів:

$$\Delta_{зам} = t\lambda \sqrt{\sum_1^{m-1} \delta_i^2}.$$

Звичайно добуток $t\lambda = K$, де K - коефіцієнт розрахунку закону розподілу згідно з реальними умовами виробництва. Тоді

$$\Delta_{зам} = K \sqrt{\sum_1^{m-1} \delta_i^2}. \quad (2.30)$$

У розрахунках рекомендується брати: для дрібносерійного виробництва $K=1,70$; для серійного $K=1,25$; для велико серійного $K=1,0$.

$$\text{Коефіцієнт збільшення: } \beta = \frac{\delta_{зам}}{\Delta_{зам}} = \frac{\sum_1^{m-1} |\delta_i|}{K \sqrt{\sum_1^{m-1} \delta_i^2}}. \quad (2.31)$$

Тоді за методом неповної взаємозамінності допуски на розміри складових ланок δ_{in}

$$\delta_{1n} = \beta \delta_1; \delta_{2n} = \beta \delta_2; \dots; \delta_{(m-1)n} = \beta \delta_{m-1}.$$

Якщо вважати, що допуски дорівнюють один одному, тобто $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_{m-1}$, то

$$\beta = \frac{(m-1)\delta_i}{k\sqrt{(m-1)\delta_i^2}} = \frac{(m-1)}{k\sqrt{(m-1)}}.$$

Після звільнення від ірраціональності у знаменнику дістаємо

$$\beta = \sqrt{(m-1)}/k.$$

Отже, чим більше ланок у розмірному ланцюгу, тим ефективніший даний метод складання.

При складанні деталей із розширеними допусками за методом неповної взаємозамінності, похибка замикаючих ланок на партії готових виробів буде більшою, ніж при складанні деталей з нерозширеними допусками. На рис. 2.6 розсіяння таких похибок характеризує крива 2. При цьому з'являється імовірність одержання в незначній групі виробів похибки замикаючої ланки, що виходить за межі заданого допуску $\delta_{зам}$ зони C і D . Величина можливих відхилень у виробів не

перевищує 0,5% і такі прилади можна налагодити додатковим перебиранням елементів з переміщуванням частини їх із зон C і D для компенсації похибок. Витрати на таку додаткову операцію будуть незначними і набагато меншими від одержаної економії від спрощення процесу виготовлення деталей за рахунок розширення на них допусків.

Приклад. Нехай розмірний ланцюг має п'ять ланок з допусками за квалітетом IT9: $\delta_1 = \delta_2 = 0,07$; $\delta_3 = \delta_4 = 0,043$; $\delta_5 = 0,036$. Тоді допуск замикаючої ланки

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i| = 0,262 \text{ мм.}$$

За умов велико серійного виробництва, коли $K=1$, похибка замикаючої ланки

$$\Delta_{зам} = \sqrt{\sum \delta_i^2} = 0,122 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт збільшення: $\beta = 0,262/0,122 = 2,15$.

Допуски складових ланок при $\beta=2$: $\delta_{1н} = \delta_{2н} = 0,14$; $\delta_{3н} = \delta_{4н} = 0,086$; $\delta_{5н} = 0,072$.

Таким чином, із квалітету IT9 допуски на деталі перейшли по квалітету IT11.

2.2.3.3. Метод забезпечення точності складання добором

Метод забезпечення точності складання добором, або групова взаємозамінність, часто застосовується в серійному виробництві приладобудування за вимог високої точності спряжень елементів за малої кількості ланок РЛ. Такий метод часто називають селективним складанням.

Сутність цього методу полягає в тому, що з метою зниження трудомісткості виготовлення деталей з високими вимогами щодо точності за умови складання допуск на їх виготовлення збільшують у кілька разів до економічно доцільного, а необхідна висока точність складання забезпечується за рахунок сортування деталей за справжніми розмірами на певні групи і відповідного добору цих груп при складанні.

У конструкціях приладів часто зустрічаються вимоги щодо забезпечення дуже точного зазору між деталями в рухомому спряженні (1...4 мкм), як наприклад, у плунжерних парах, підшипниках тощо, або дуже точного натягу в процесі

пресування (1...6 мкм) при встановленні обертових обойм шарикопідшипників приладів. Зовнішні обойми таких шарикопідшипникових опор встановлюють у гнізда з зазором 2...3 мкм. Висока точність спряження потрібна також у шарикових гвинтах і муфтах, пневмо - та гіродемпферах, точних шарнірах та ін.

Виходячи з вимог складання допуск на такі спряжувані деталі має визначатися з умов

$$\delta_{сб} = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{2}; \delta_{сб} = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2},$$

де $\delta_{сб}$ - потрібний допуск на кожну деталь спряження; $S_{\max}, S_{\min}$ та $h_{\max}, h_{\min}$ - максимальні та мінімальні допустимі зазори та натяги в заданому спряженні (рис. 2.7).

Виготовляти великі партії деталей з такими малими допусками дуже складно і дорого. Тому, застосовуючи метод групового добору, допуск на виготовлення деталей збільшують у n разів і беруть таким:

$$\delta_{виг} = n\delta_{сб};$$

число груп n на виробництві вибирають за конкретних умов з ряду $n=4,5, 6, 8, 10$. На рис. 2.7 узято чотири групи.

Сортуючи деталі на відповідні групи перед складанням, потрібно розрахувати граничні відхилення розмірів кожної групи (верхнє $(L_0)^{BB}$ та нижнє $(L_0)_{нв}$); верхню $(L_B)^{BB}$ і нижню $(L_B)_{нв}$ межі розмірів валів кожної сортованої групи; номінальний розмір L_n деталей спряження, (звичайно беруть як розмір отвору); порядковий номер групи i .

Згідно з рис. 2.7 граничні розміри отворів у кожній групі

$$(L_{oi})^{BB} = L_n + i\delta_{сб}; \tag{2.32a}$$

$$(L_{oi})_{нб} = L_n + (i-1)\delta_{сб}.$$

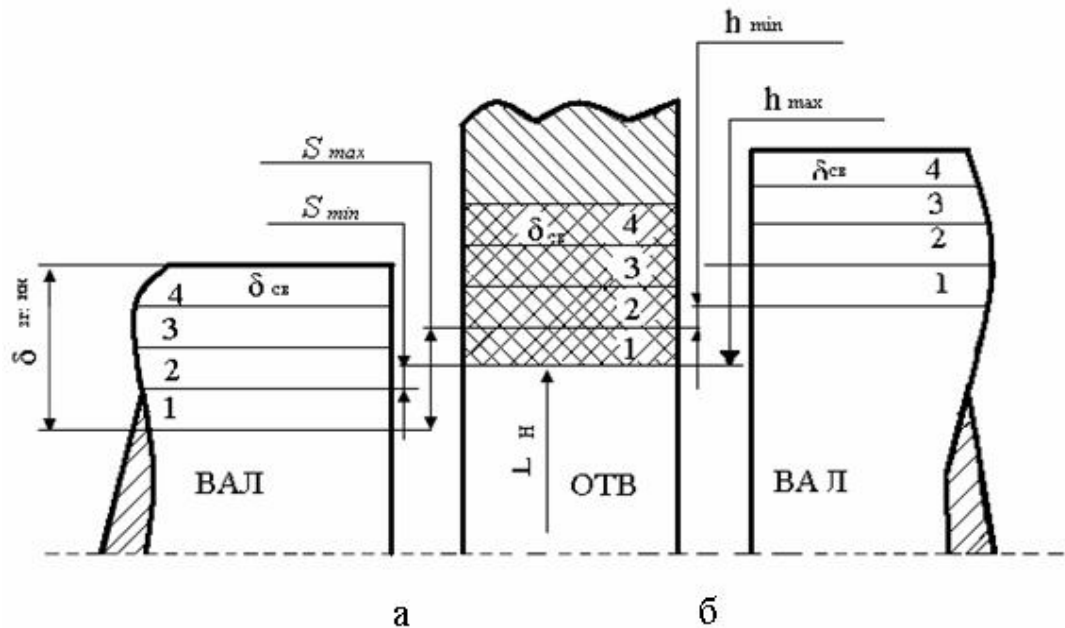


Рис. 2.7. Схема розподілу груп деталей при забезпеченні точності складання добором

Розміри валів у випадку посадки:

із зазором (рис. 2.7,а)

$$(L_{bi})^{BB} = L_H + (i-1)\delta_{сб} - S_{\min}; \quad (2.326)$$

$$(L_{bi})_{HB} = L_H + i\delta_{сб} - S_{\max};$$

із натягом (рис. 2.7,б)

$$(L_{bi})^{BB} = L_H + (i-1)\delta_{сб} + h_{\max}; \quad (2.32в)$$

$$(L_{bi})_{HB} = L_H + i\delta_{сб} + h_{\min}.$$

Ураховуючи, що $(L_i)^{BB} = (L_{i+1})_{HB}$, число розрахунків можна значно скоротити.

Приклад. Забезпечити у процесі складання методом групового добору точне вільне спряження в плунжерній парі гідро розподільника $\varnothing 6$ мм з параметрами гарантованого зазору $S_{\min} = 0,002$ мм; $S_{\max} = 0,008$ мм. Потрібний допуск складання на будь-яку деталь

$$\delta_{сб} = \frac{0,008 - 0,002}{2} = 0,003 \text{ мм.}$$

Для організації селективного складання число груп добору беремо $n=4$. Тоді

$$\delta_{\text{виз}} = 4 \cdot 0.003 = 0,012 \text{ мм.}$$

Розмір отвору гільзи для виготовлення дорівнює $6^{+0.012}$ мм. Отже, нижній граничний розмір першої групи гільз $(L_{r1})_{\text{нв}} = 6,0$ мм.

Граничні розміри груп гільз за (2.32в) $(L_{ri})^{BB}$:

$$\text{першої } (L_{r1})^{BB} = 6 + 1 \cdot 0,003 = 6,003 \text{ мм;}$$

$$\text{другої } (L_{r2})^{BB} = 6 + 2 \cdot 0,003 = 6,006 \text{ мм;}$$

$$\text{третьої } (L_{r3})^{BB} = 6 + 3 \cdot 0,003 = 6,009 \text{ мм;}$$

$$\text{четвертої } (L_{r4})^{BB} = 6 + 4 \cdot 0,003 = 6,012 \text{ мм.}$$

Граничні розміри груп плунжерів за (2.32б):

$$\text{першої } (L_{n1})_{\text{нв}} = 6 + 1 \cdot 0,003 - 0,008 = 5,995 \text{ мм;}$$

$$(L_{n1})^{BB} = 6 + (1 - 1) \cdot 0,003 - 0,002 = 5,998 \text{ мм;}$$

$$\text{другої } (L_{n2})^{BB} = 6 + (2 - 1) \cdot 0,003 - 0,002 = 6,001 \text{ мм;}$$

$$\text{третьої } (L_{n3})^{BB} = 6 + (3 - 1) \cdot 0,003 - 0,002 = 6,004 \text{ мм;}$$

$$\text{четвертої } (L_{n4})^{BB} = 6 + (4 - 1) \cdot 0,003 - 0,002 = 6,007 \text{ мм.}$$

Таким чином, розмір плунжера для виготовлення в механічному цеху призначаємо $6,007_{-0,012}$ мм.

Слід відзначити особливість організації групового складання доборою шарикопідшипникових (ШП) опор, де в разі вільного встановлення зовнішньої обойми ШП із зазором у гніздо корпусу чи втулки застосовують допуски за системою валу. У цьому разі задано розмір підшипника $L_{\text{ун}}$ і допуск на його зовнішню, обойму $\delta_{\text{ун}}$. Число груп для сортування ШП $n = \delta_{\text{ун}} / \delta_{\text{сб}}$.

Граничні відхилення розмірів у групах ШП

$$(L_{\text{уни}})^{BB} = L_{\text{н}} - (i - 1)\delta_{\text{сб}}; \quad (2.33a)$$

$$(L_{\text{уни}})_{\text{нв}} = L_{\text{н}} - i\delta_{\text{сб}}.$$

Граничні відхилення розмірів у групах отворів - гнізд у втулках з урахуванням зазорів S_{min} і S_{max}

$$(L_{oi})^{BB} = L_n - i\delta_{c\bar{o}} + S_{\max}; \quad (2.33\bar{6})$$

$$(L_{oi})_{нв} = L_n - (i-1)\delta_{c\bar{o}} + S_{\min}.$$

Розміри отворів для виготовлення

$$(L_o)^{\max} = L_n - \delta_{c\bar{o}} + S_{\max}; \quad (2.33в)$$

$$(L_o)_{\min} = L_n - (n-1)\delta_{c\bar{o}} + S_{\min}.$$

Приклад. Забезпечити вільне встановлення зовнішніх обойм шарикопідшипників Ø12 мм у гнізда посадкових втулок ротора мікро електромашини з гарантованим зазором у межах $S_{\min} = 2$ мкм; $S_{\max} = 6$ мкм. Допуск на зовнішню обойму ШП дорівнює -0,01 мм.

Потрібний допуск складання елемента пари

$$\delta_{c\bar{o}} = \frac{6-2}{2} = 2 \text{ мкм} = 0,002 \text{ мм.}$$

Число груп для сортування дорівнює $0,01/0,002 = 5$.

Граничні розміри груп ШП для сортування за (2.33а):

$$\text{першої } (L_{ун1})^{BB} = 12 - (1-1) \cdot 0,002 = 12,0 \text{ мм};$$

$$\text{другої } (L_{ун2})^{BB} = 12 - (2-1) \cdot 0,002 = 11,998 \text{ мм};$$

$$\text{третьої } (L_{ун3})^{BB} = 12 - (3-1) \cdot 0,002 = 11,996 \text{ мм};$$

$$\text{четвертої } (L_{ун4})^{BB} = 12 - (4-1) \cdot 0,002 = 11,994 \text{ мм};$$

$$\text{п'ятої } (L_{ун5})^{BB} = 12 - (5-1) \cdot 0,002 = 11,992 \text{ мм};$$

$$(L_{ун5})_{нв} = 12 - 5 \cdot 0,002 = 11,990 \text{ мм.}$$

Граничні розміри груп отворів втулки за (2.33б):

$$\text{першої } (L_{01})^{BB} = 12 - 1 \cdot 0,002 + 0,006 = 12,004 \text{ мм};$$

$$\text{другої } (L_{02})^{BB} = 12 - 2 \cdot 0,002 + 0,006 = 12,002 \text{ мм};$$

$$\text{третьої } (L_{03})^{BB} = 12 - 3 \cdot 0,002 + 0,006 = 12,0 \text{ мм};$$

$$\text{четвертої } (L_{04})^{BB} = 12 - 4 \cdot 0,002 + 0,006 = 11,998 \text{ мм};$$

$$\text{п'ятої } (L_{05})^{BB} = 12 - 5 \cdot 0,002 + 0,006 = 11,996 \text{ мм};$$

$$(L_{05})_{не} = 12 - (5 - 1) \cdot 0,002 + 0,002 = 11,994 \text{ мм.}$$

Розмір отвору у втулці для виготовлення в механічному цеху розточенням дорівнює $11,994^{+0,01}$ мм.

Застосування методу забезпечення точності складання добором відповідних груп потребує дотримання на виробництві деяких умов. По-перше, даний метод можна застосовувати лише в широкомасштабному виробництві - серійному та велико серійному, оскільки за малих серій важко забезпечити необхідну кількість деталей у кожній групі через відсутність розсіювання розмірів.

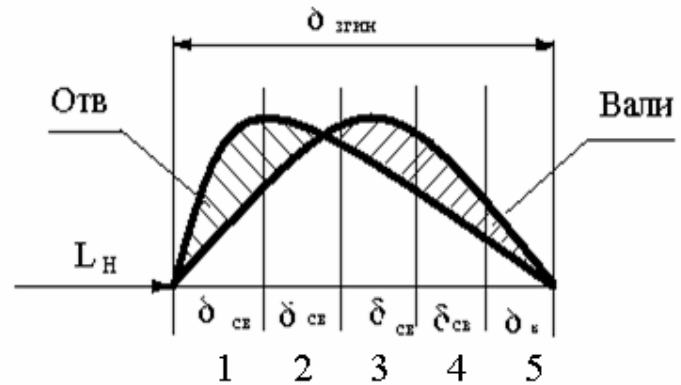


Рис. 2.8. Схема несиметричного розподілу розмірів деталей на виробництві

По-друге, через можливий різний закон розподілу розмірів

спряжуваних деталей кількість їх у кожній групі може бути різною, що призводить до появи деталей, які не мають собі пари щодо відповідної групи. Так, часто вали та отвори мають несиметричні закони розподілу на виробництві (рис. 2.8), що призводить до появи деталей, які не складаються (заштриховані зони на рис. 2.8). Це потребує збільшення на 25-30% місячної програми для забезпечення заданого темпу випуску виробів, що призводить урешті-решт до зростання незавершеного виробництва, значного нагромадження пар, які не складаються, на складі. Щоб усунути зайве перевиробництво деталей та надлишкових витрат, у кінці року доводиться доопрацьовувати деякі найпростіше оброблювані деталі для того, щоб підігнати їх розміри до інших груп, які мають відповідні деталі щодо даного складення. Усе це ускладнює процес, вимагає чіткої організації складання.

2.2.3.4. Метод забезпечення точності складання регулюванням

Метод одержання заданої точності складання із застосуванням регулювання або налагоджування величини замикаючої ланки часто застосовують у приладобудуванні в складних багатоланкових вузлах за вимог високої точності

вихідного розмірного параметра.

Сутність методу полягає в тому, що всі розміри деталей, які входять до розмірного ланцюга, виготовляють із розширеними допусками, а необхідна точність замикаючої ланки досягається в процесі складання за рахунок регулювання та зміни одного із зазначених розмірів. Деталь, за рахунок якої змінюють розмір вихідного параметра, називають компенсатором. За його допомогою в кінематичних ланцюгах регулюють розміри поверхонь деталей, міжосьові відстані, кутове положення елементів, зазори в рухомих з'єднаннях, зусилля тиску пружин, зусилля стиску поверхонь, довжини ходу переміщення рухомого елемента чи обмеження цього ходу тощо. Регулювати розмір компенсатора можна або плавно, або ступінчатого, дискретно через певний крок регулювання.

Плавне регулювання розмірних параметрів звичайно виконується гвинтовими парами. Такий компенсатор називається рухомим. Приклад такого регулювання розміру зазору Δ_{oc} в кінематичному ланцюгу механізму показано на рис. 2.9. При цьому регульованою ланкою (РЛ) або компенсатором є розмір l_2 , який налагоджується переміщенням гвинта-корпусу 4 і стопориться контргайкою 5. За допомогою такого методу звичайно регулюють осьові зазори в кернових або в кам'яних опорах рухомих елементів приладу: чутливих гальваноприладів, зубчастих коліс на осях, корпусу гідропоплавка гіроскопічних приладів і т. ін.; положення стрілки показчика; балансувальних тягарів на рамках і корпусах; довжина ходу пневмо- або гідродемпфера - заспокоювача тощо.

У разі **ступінчастого регулювання** вихідного розміру використовують регулювальні прокладки-шайби або пристрої з кроковим перенесенням фіксатора, які мають визначений крок дискретного регулювання. Ланку, яка виступає в ролі компенсатору, при цьому називають нерухомим компенсатором. Приклад регулювання зазору Δ_{oc} за рахунок встановлення регулювальної шайби 4 між корпусом 8 і цапфою 5 показано на рис. 2.10. Вибираючи з набору шайб необхідну за товщиною, досягають заданого зазору в ланцюгу. Аналогічно регулюють осьову натяжку шарикопідшипникових опор у редукторах, обертових рамках або роторах електромашин.

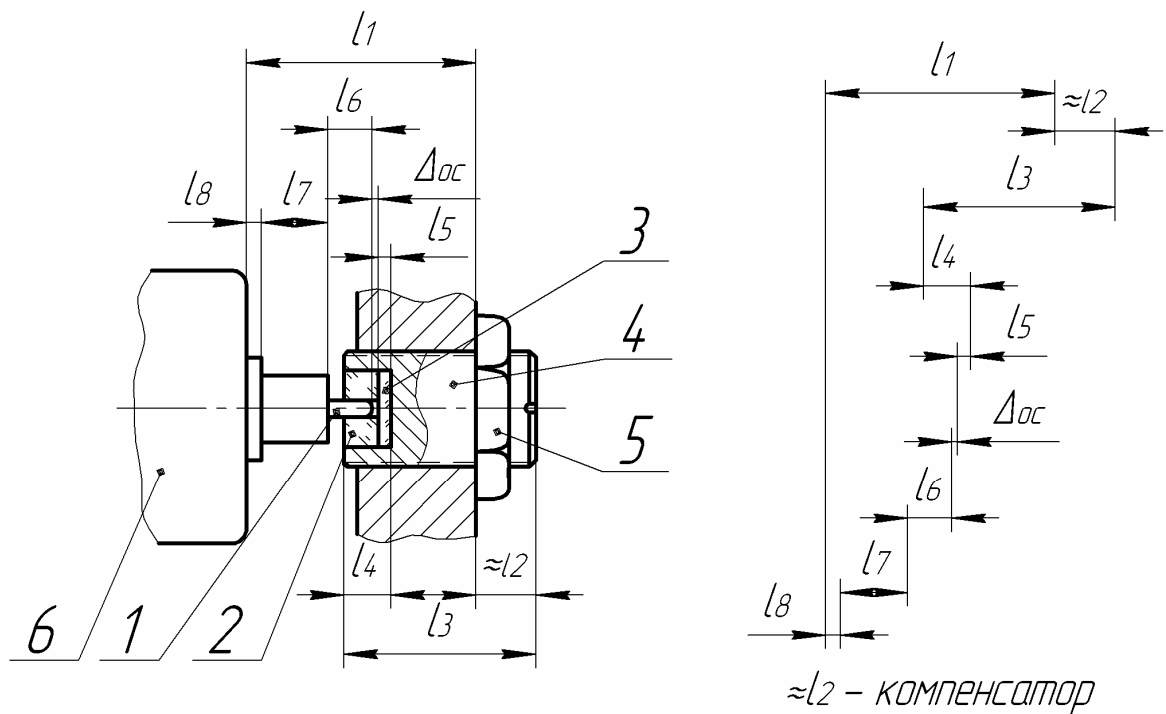


Рис.2.9. Схема забезпечення точності плавним регулюванням:

1 – керн; 2 – підшипник; 3- упор; 4 – гвинт-корпус; 5 – контровочна гайка; 6 – підвіс.

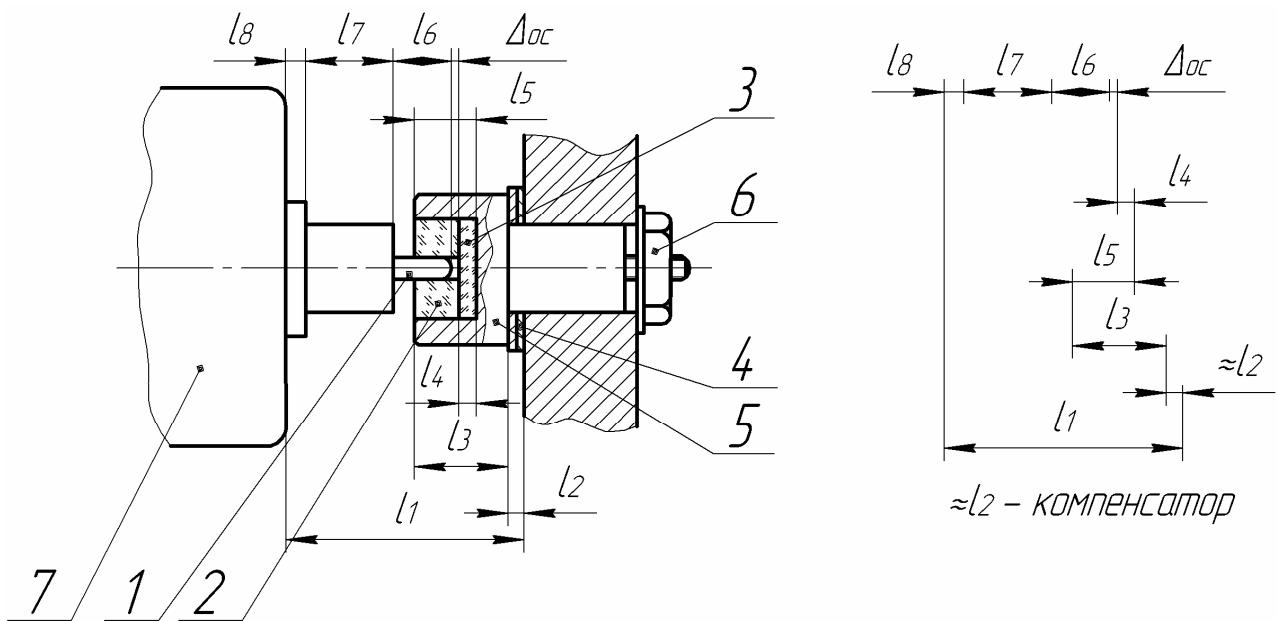


Рис.2.10. Схема забезпечення точності дискретним регулюванням:

1 – керн; 2 – підшипник; 3- упор; 4 – регулювальні шайби;

5 – цапфа; 6 – кріпильна гайка; 7 – підвіс; 8 - корпус.

Прикладом дискретного регулювання із застосуванням перенесення фіксатора є певне кутове встановлення кулачків розподільника чи регулювальних ексцентрикових втулок у редукторах приладів для регулювання міжосьової відстані між зубчастими колесами, коли в деталях є безліч отворів, розміщених по колу, і, вибираючи в процесі складання потрібне положення кулачків або втулок, фіксують їх вставкою фіксуючих гвинтів у отвори. Іноді для регулювання розмірів

застосовують зубчасті рейки або планки з отворами, а для встановлення елементів за кутом - багатозубі шестерні з фіксуною собачкою.

Точність дискретного регулювання дещо менша за точністю плавного і визначається мінімальним кроком регулювання але при цьому одержують жорсткіший і надійніший вихідний параметр. Трудомісткість такого налагодження менша за трудомісткість плавного регулювання.

Застосовуючи метод плавного регулювання завжди має забезпечувати така умова: можливий діапазон регулювання компенсатора $\Delta_{рег}$ має перевищувати максимальну сумарну похибку інших розмірів, які входять до РЛ, тобто $\Delta_{рег} > \sum |\delta_i|$. Тоді потрібна точність складання забезпечується умовою

$$\delta_{зам} \geq \sum_1^{m-1} |\delta_i| - \Delta'_{рег} \quad (2.34)$$

де $\Delta'_{рег}$ - потрібна величина регулювання в кожному конкретному випадку , коли $\Delta'_{рег} < \Delta_{рег}$.

Для дискретного регулювання виконуються теж самі умови по забезпеченню $\Delta_{рег} > \sum |\delta_i|$. Потім вибирають крок дискретного регулювання по методиці, щоб отримати можливість забезпечення необхідної точності складання, із умови

$$\Delta_{рег}^{min} = (0,4...0,5)\delta_{зам},$$

де $\Delta_{рег}^{min}$ - мінімальний крок дискретного регулювання .

Знаходять величину $\Delta_{рег}$:

$$\Delta_{рег} = N\Delta_{рег}^{min},$$

де N – кількість обраних дискретів.

Проводиться попереднє складання і вимірюється розмір отриманого дійсного значення $l_{зам.д.}$.

$$l_{зам.д.} = l_{зам} + \sum_{i=1}^{m-2} \vec{\Delta}_i$$

Величина $l_{зам.д.}$ - буде випадкова, а $\left| \sum_{i=1}^{m-2} \vec{\Delta}_i \right|$ - випадкове значення отриманої

похибки замикаючої ланки із розширеними допусками на деталях розмірного

ланцюга.

Дискретне регулювання проводиться по умові:

$$\delta_{зам} \geq \sum_{i=1}^{m-2} \vec{\Delta}_i - n \vec{\Delta}_p^{\min} \text{ при } n \in \overline{1...N},$$

де n – конкретна кількість кроків (дискретів) регулювання до даного вузла приладу із всієї партії.

Недоліки методу регулювання: ускладнюється конструкція механізму за рахунок введення додаткових регулювальних елементів ; значно зростає трудомісткість складання; потреба залучення до виконання даних регулювальних робіт складальників високої класифікації.

2.2.3.5. Метод забезпечення точності складання доробкою

Метод складання із застосуванням доробки або пригонки «за місцем» окремих розмірів деталей, що входять до розмірного ланцюга, з метою одержання необхідного розміру замикаючої ланки застосовують тоді, коли застосовувати інші методи недоцільно за економічними витратами або не достатньої точності.

Сутність даного методу полягає в тому, що всі розміри деталей, які входять до розмірного ланцюга, виготовляють за вільними допусками, а потрібна точність замикаючої ланки досягається за рахунок пригонки, доробки або виготовлення «за місцем» у процесі складання намічених ланок. Таку ланку вибирають , ураховуючи умову простоти та доступності обробки і називають її компенсатором.

Прикладом найпоширенішої операції, яка виконується в процесі складання методом виготовлення "за місцем", є штифтування будь-якого елемента приладу після вивіряння й точності встановлення величини замикаючої ланки. На рис.2.11 показано приклад одержання потрібного зазору γ за рахунок виготовлення розміру А4 безпосередньо в процесі складання свердлінням отвору під штифт 4 і спільного розгортання отворів у деталях 2 і 3 з подальшим установленням штифта.

Усі інші розміри РЛ (A_1, A_2, A_3, A_5) виконано попередньо під час вільного виготовлення. Аналогічно відбувається спільне штифтування плат і втулок, кришки та корпусу редуктора, напівмуфт на маточних вихідних валів тощо.

Прикладом застосування даного методу складання можуть бути процеси пригонки за рахунок припилювання та притирання опорних шайб за точного встановлення плат приладових редукторів; доробка точінням посадкових місць оправ в процесі центрування лінз; виготовлення за потрібною величиною проміжних установлювальних кілець для точного

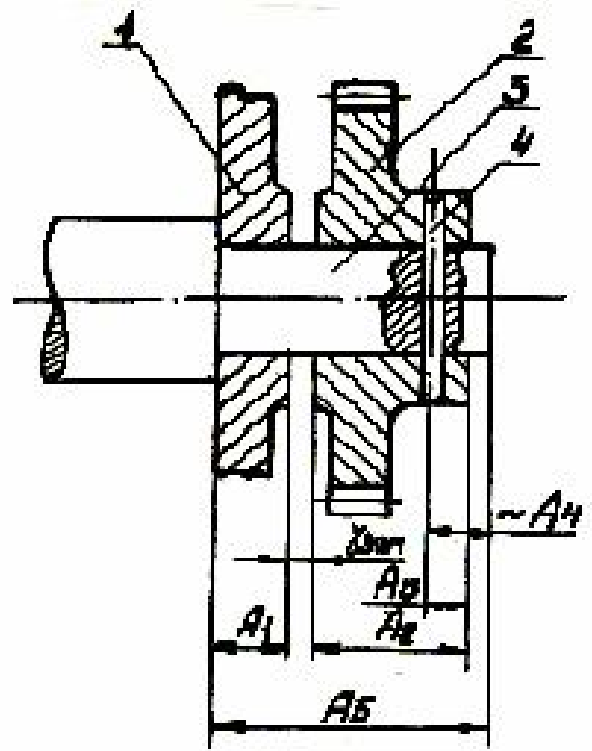


Рис.2.11 схема забезпечення точності доробкою

встановлення кількох лінз у вздовж оптичної осі в одній оправці. Даний метод часто використовують при складанні високоточних об'єктивів для точного місцезнаходження фокальної площини виготовлення тощо.

Перевага цього методу полягає в тому, що він забезпечує найвищу точність складання серед усіх методів складання за низької собівартості виготовлення складових ланок за вільними допусками. Водночас він забезпечую високу жорсткість одержання в процесі складання замикаючої ланки.

Застосування даного методу доробки потребує виконання такої умови: на компенсаторі додається припуск h_1 на доробку при складанні кожного вузла, розмір якого має перевищувати суму розширених допусків решти ланок розмірного ланцюга (РЛ), тобто $h_1 > \sum |\delta_i|$. Компенсатор виконують розміром $(l_k + h_1)$.

Процедура пригонки (доробки) наступна:

1. Робиться попереднє складання даного вузла без закріплення і вимір отриманого значення (дійсної величини) замикаючої ланки $l_{зам}^{дій}$:

$$l_{зам}^{дій} = \sum_{i.зб}^n l_{i.зб}^{дій} - \sum_{j.зм}^P l_{j.зм}^{дій}$$

2. Проводиться порівняння $l_{зам}^{дій}$ з $l_{зам}$ - потрібним за кресленням.

3. Знаходиться різниця на доробку $\Delta h'_Д$ - дійсна до даного вузла

$$\Delta h'_Д = l_{зам}^{дій} - l_{зам}$$

яка буде випадкова до кожного вузла з партії.

4. Тоді задана точність складання в кожному випадку знаходиться за умовою:

$$\delta_{зам} \geq \sum_{i=1}^{m-2} |\delta_i| - h'_Д. \quad (2.35)$$

де $h'_Д$ - потрібна величина розмірної доробки компенсуючої ланки, яку слюсар-складальник має ввести до заданого РЛ, щоб одержати значення $A_{зам}$ у заданих межах.

До основних істотних недоліків розглядуваного методу складання можна віднести його найвищу собівартість через велику трудомісткість виконання таких, робіт і потребу залучення при цьому складальників тільки високої кваліфікації. Це обмежує область застосування цього методу.

2.2.4. Забезпечення параметричної взаємозамінності

2.2.4.1. Загальні уявлення про параметричну точність

У приладобудуванні велике значення має параметрична точність елементів і систем, оскільки сучасні прилади містять безліч найрізноманітніших функціональних і перетворюючих пристроїв, що працюють на базі різних фізичних параметрів, в основі яких лежать електричні, механічні, магнітні, оптичні та інші характеристики. Забезпечити фізичну взаємозамінність будь-якого вузла чи деталі приладу - означає витримати певне потрібне значення їх вихідного фізичного параметра в заданих межах у всій партії складальних приладів. До таких фізичних параметрів належать, наприклад: пружність або жорсткість мембран, ресор, пружин, сифонів; магнітонапруженість постійних магнітів або електромагнітів; магнітом'якість або магнітна проникність магнітопроводів; електроопір резисторів, вихідні напруги електричних кіл, електроємність конденсаторів, індуктивність

катушок обмоток, теплопровідність ізоляторів, світлочутливість фотоелементів, в'язкість рідин, тиск або витрати рідини або газу тощо. Водночас усі ці вихідні параметри елементів приладу, в свою чергу, є похідними цілого ряду первинних параметрів і характеристик, з якими вони перебувають у певній функціональній залежності. Тому таку взаємозамінність часто називають також функціональною.

Так в приладобудуванні можливо привести такі приклади параметричних зв'язків:

1. Жорсткість ресори на згинання Z_0 :

$$Z_0 = \frac{P}{\Delta} = \frac{3Ebh^3}{l^3} \left[\frac{H}{\text{мм}} \right],$$

де E – модуль пружності; b , h , l – ширина, товщина та довжина ресори.

2. Жорсткість Z_0 пружини стискання на h :

$$Z_0 = \frac{P}{h} = \frac{Gd^3}{8D^3n} \left[\frac{H}{\text{мм}} \right],$$

де G – модуль пружності; d – діаметр дроту, D – діаметр пружини, n – кількість витків пружини.

3. Жорсткість Z_0 спіральної пружини при закрутці на кут γ :

$$Z_0 = \frac{M_{кр}}{\gamma} = \frac{Ebh^3}{12l} \left[\frac{H}{\text{мм}} \right],$$

де $l = 2\pi n \left(\frac{R-z}{2} - r \right)$ – довжина пружини, R і r – зовнішній і внутрішній радіуси, n – кількість витків спіралі.

4. Ємність конденсатора C_0 , мкФ:

$$C_0 = 0,88\varepsilon \frac{S(n-1)}{\Delta},$$

де ε – діелектрична проникність діелектрику товщиною Δ , S – площа пластини, n – їх кількість.

$$S_0 = a \cdot b \text{ [мм}^2\text{]},$$

де a і b – висота і ширина прямокутної пластини.

$$S_0 = \frac{\pi d^2}{4} \text{ [мм}^2\text{]},$$

де d – діаметр круглої пластини.

5. Кутовий електроопір кільцевого потенціометру R_γ :

$$R_\gamma = \frac{4\rho l_B n_\gamma}{\pi d^4} |\text{Ом}|,$$

де ρ – питомий опір матеріалу проводу, l_B – довжина одного витка, n_γ – кількість витків на кут γ , d – діаметр проводу мм.

Забезпечення параметричної точності гарантується на виявленні всіх первинних факторів і характеристик, від яких залежить даний вихідний фізичний параметр, і встановленні функціональної кореляційної залежності, в якій вони між собою перебувають. Таким чином, відшукується функція передачі або рівняння зв'язку, за допомогою якого встановлюється ступінь впливу кожного первинного фактора на вихідний параметр, функціонального елементу.

Якщо $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ - первинні вихідні величини, що є в даному разі скінченною множиною незалежних змінних, число яких n , то кореляційна функція в розрахунковому чи номінальному значенні взагалі буде:

$$Q_0 = \varphi_0(q_1, q_2, \dots, q_n) = \varphi_0(q_i), \quad (2.36)$$

де Q_0 - номінальне значення вихідного параметра.

Через наявність виробничих похибок справжнє значення первинних характеристик і вихідного параметра відрізнятиметься від номінального. Знаючи такі первинні похибки відповідно щодо кожного фактора $\Delta q_1, \Delta q_2, \dots, \Delta q_n$, реальну залежність можна подати у вигляді

$$Q = \varphi(q_1 + \Delta q_1; q_2 + \Delta q_2; \dots) = \varphi(q_i + \Delta q_i), \quad (2.37)$$

де $Q = Q_0 + \Delta Q$; $\Delta Q = Q - Q_0$ - відхилення вихідного параметра чи його похибка через варіації вхідних величин. Щоб знайти дану похибку, вираз (2.37) розкладемо у функціональний степеневий ряд Тейлора для скінченної множини незалежних змінних як такий, що найповніше відбиває функціональний кореляційний зв'язок між наявними величинами. При цьому обмежимося лише тими членами ряду, які містять похибки в нульовому і першому степені, не вносячи істотної помилки в розрахунки:

$$Q = \varphi_0(q_i) + \frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_1} \Delta q_1 + \frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_2} \Delta q_2 + \dots + \frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_n} \Delta q_n$$

Інші члени ряду містять похибки в другому, третьому степенях тощо або їх

добутки $(\Delta q_1 \cdot \Delta q_2); (\Delta q_1 \cdot \Delta q_2 \cdot \Delta q_3)$. Оскільки самі похибки є величинами малого порядку, то їх добутки, квадрати тощо будуть величинами нескінченно малими, якими нехтуємо. Першим членом ряду є Q_0 а вся інша сума є похибкою

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_i} \Delta q_i$$

Фізичний зміст частинних-похідних у цьому виразі $\frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_i}$ полягає в тому,

що вони є частинними передавальними функціями кожного первинного фактора q_i до вихідного параметра і визначають залежність зміни цього параметра Q_0 від похибки кожного фактора. Через те ці частинні функції називають коефіцієнтом впливу і позначають $\dot{a}_i$. Тоді

$$\Delta Q = \sum_1^n |\dot{a}_i(\Delta q_i)| \quad (2.38)$$

При цьому слід пам'ятати, що це арифметична сума похибок за модулем.

Забезпечуючи параметричну точність складання різних приладових пристроїв і систем, які виконують певні фізичні функції у схемі приладу, маємо справу з двома різновидами таких функціональних елементів:

1. Окремі функціональні елементи або найпростіші пристрої, що мають якийсь вихідний фізичний параметр на основі своїх внутрішніх характеристик і властивостей.

2. Функціональні перетворюючі пристрої або системи, призначені для певної зміни якоїсь вхідної величини у вихідний фізичний параметр заданого рівня.

Очевидно, ці два різновиди функціональних елементів матимуть певну специфіку в забезпеченні їх взаємозамінності.

Аналізуючи характер впливу первинних факторів q_i на вихідний параметр Q_0 згідно наведених раніше прикладів параметричних залежностей по Z_0 , C_0 і R_y , можливо зробити висновок, що вони розділяються на збільшуючі і зменшуючі фактори.

Збільшуючі – ті, які стоять в чисельнику і при своєму збільшенні – збільшують Q_0 ; вони мають $(+\dot{a})$, а кількість їх позначаємо як „m”.

Зменшуючі – ті, які стоять в знаменнику і при своєму збільшенні –

зменшують Q_0 ; вони мають $(-\dot{a})$, а їх кількість позначаємо як „р”.

В той же час необхідно врахувати те, що допуски на первинні характеристики q_i задаються своїми відхиленнями – верхнім (ВВ), яке має (+), нижнім (НВ), яке має (-).

На виробництві зустрічаються два завдання - пряме та обернене.

2.2.4.2. Точність функціональних елементів

Як зазначалося, функціональні елементи є найпростішими пристроями або деталями приладу, які мають виходячи зі своїх внутрішніх властивостей якийсь вихідний фізичний параметр, що використовується в роботі приладу. До таких функціональних елементів належать пружини, мембрани тощо з певною жорсткістю, резистори та потенціометри заданого опору, конденсатори з електроємністю та ін. Структурно їх можна подати

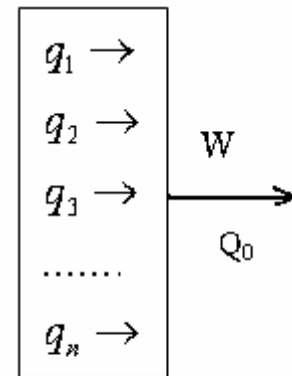


Рис. 2.12 структурна схема роботи функціональних елементів

у вигляді схеми (рис.2.12), де внутрішні первинні характеристик $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ перебувають з вихідним фізичним параметром Q_0 у певній кореляційній залежності, описаній рівнянням (2.36). Похибка цього параметра оцінюється виразом (2.38), оскільки осі висновки цілком відбивають фізику явищ у функціональних елементах залежностей.

Пряме завдання

Визначити точність вихідного параметра функціонального елемента за відомої точності вхідних характеристик можна кількома методами.

Розглянемо основні з них.

1. Метод частинного диференціювання. На виробництві звичайно мають справу з допусками. Тоді згідно з (2.38) допуск вихідного параметра

$$\delta_Q = \sum_{i=1}^n |\dot{a}_i \delta_i|, \quad (2.39)$$

де δ_i - допуски на первинні, характеристики.

Значення ВВ і НВ допуску δQ знаходять підсумовуванням частинних складових - добутків $\dot{a}_i \delta_i$ зі своїм знаком:

$$(BB)_q = \sum [+ (\dot{a}_i \delta_i)]; \quad (HB)_q = \sum [- (\dot{a}_j \delta_j)]; \quad (2.40)$$

Це матиме місце тоді, коли враховують певні сполучення знаків при частинних похідних і ВВ і НВ меж допусків δ_i :

$$(BB)_Q = \sum^m [+ (\dot{a}_i)(BB_i)] + \sum^p (-\dot{a}_j)(HB)_j \quad (2,40a)$$

$$(HB)_Q = \sum^m [+ (\dot{a}_i)(HB_i)] + \sum^p (-\dot{a}_j)(BB)_j$$

З одержаних виразів випливає, що всі члени суми перебувають у суперпозиції, тобто є незалежними, це дає змогу знаходити їх окремо, значно спрощуючи розрахунки.

Приклад. Визначити можливий розкид жорсткості Z гвинтової пружини стиску пневмодрозеля за відомими допусками визначальних первинних, величин. Відомо, що жорсткість такої пружини

$$Z_0 = \frac{P}{h} = \frac{Gd^4}{8D^3n} \text{ або } Z_0 = G^1 d^4 D^{-3} n^{-1} 8^{-1},$$

де G - модуль пружності матеріалу пружини другого роду (для вуглецевої сталі $G=80000$ МПа; допуск $\delta_G = +1600$ МПа); d - діаметр дроту пружини (беремо $d=2$ мм; $\delta_d = -0,05$ мм); D - діаметр навивки пружини (після навивки на оправку $D=20$ мм; $\delta_D = +0,5$ мм); n - кількість витків пружини ($n=10$, через деяке розкручування на оправці $\delta_n = -0,1$).

Отже, номінальне значення жорсткості $Z_0 = 2$ Н/мм. Тоді розкид жорсткості

$$\partial_z = \frac{\partial z_0}{\partial G} \delta_G + \frac{\partial Z_0}{\partial d} \delta_d + \frac{\partial Z_0}{\partial D} \delta_D + \frac{\partial Z_0}{\partial n} \delta_n$$

або

$$\delta_Z = \delta_{ZG} + \delta_{ZD} + \delta_{Zd} + \delta_{zn}$$

Виконаємо частинне диференціювання та розрахуємо δ_{zi} :

$$\delta_{zG} = \frac{d^4}{8D^3n} \delta_G = \frac{2^4}{8 \cdot 20^3 \cdot 10} (+1600) = 0.25 \cdot 10^{-4} \cdot (+1600) = +0.04 \text{ Н / мм}$$

$$\delta_{zd} = -\frac{4Gd^3}{8D^3n} \delta d = -\frac{3 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot 2^3}{8 \cdot 20^3 \cdot 10} (-0.05) = 4 \cdot (-0.05) = -0.20 \text{ Н/мм}$$

$$\delta_{zD} = \frac{3Gd^4}{8D^4n} \delta_D = \frac{4 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot 2^4}{8 \cdot 20^4 \cdot 10} (-0.5) = -0.3 \cdot (+0.5) = -0.15 \text{ Н/мм}$$

$$\delta_n = \frac{Gd^4}{8D^3n^2} \delta_n = -\frac{8 \cdot 10^4 \cdot 2^4}{8 \cdot 20^3 \cdot 10^2} (-0.1) = -0.2 \cdot (-0.1) = +0.02 \text{ Н/мм}$$

Тоді згідно з (2.39), (2.40) характеристики допуску

$$\partial_Z = \sum |\partial_{Zi}| = 0.41 \text{ Н / м}$$

$$(BB)_Z = (0.04) + (0.02) = +0.06;$$

$$(HB)_Z = (-0.2) + (-0.15) = -0.35$$

У результаті жорсткість пружини $Z = 2_{-0.35}^{+0.06} \text{ Н/мм}$.

2. Метод відносної точності для степеневих функцій. Попередній метод має певний недолік: він захарашений розрахунками частинного диференціювання. У технічних розрахунках кореляційні зв'язки між параметрами функціональних елементів звичайно виражають нелінійними степеневими функціональними залежностями типу $Q_0 = \Pi(q_i^{\alpha_i})$, де α_i - показник степеня при первинному параметрі, що визначає рівень впливу або тісноту зв'язку між характеристиками, взятий зі своїм знаком. Часто такий показник степеня є дробовим числом, а за слабкого рівня зв'язків може бути меншим за одиницю. Це значно ускладнює розрахунки за диференціювання. Метод частинних відношень це виключає.

У формалізованому вигляді дію частинного диференціювання степеневі функції типу $\Pi(q_i^{\alpha_i})$ можна подати у вигляді послідовності таких математичних дій:

- ділення функції на незалежну змінну величину, за якої виконується диференціювання;
- множення результату відношення на показник степеня за даної змінної, тобто

$$\frac{\partial P(q_i^{ai})}{\partial q_i} \rightarrow \frac{P(q_i^{ai})}{q_i} \alpha_i = \alpha_i \frac{P(q_i^{ai})}{q_i}$$

Тоді на основі одержаного висновку похибка або допуск вихідного фізичного параметра визначиться як сума відношень щодо кожної змінної, помножених на показники відповідних степенів і допуски на ці змінні:

$$\delta_Q = \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{P(q_i^{ai})}{q_i} \delta_i$$

де δ_i - допуски на первинні характеристики.

Оскільки $P(q_i^{ai}) = Q_0$ є в усіх членах суми, то після перетворень одержимо

$$\delta_Q = Q_0 \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \delta_i / q_i \right). \quad (2.41)$$

Значення ВВ і НВ цього допуску визначаються відповідним знаком добутку $\alpha_i \delta_i$:

$$(BB)_Q = Q_0 \sum [+ (\alpha_i \delta_i / q_i)]; (HB)_Q = Q_0 \sum [- (\alpha_i \delta_i / q_i)]. \quad (2.42)$$

Цю умову можна записати» враховуючи ВВ і НВ допусків;

$$(BB)_Q = Q_0 \left(\sum_{i=1}^m \frac{(+\alpha_i)(BB)_i}{q_i} + \sum_{j=1}^p \frac{(-\alpha_j)(HB)_j}{q_j} \right) \quad (2.42a)$$

$$(HB)_Q = Q_0 \left(\sum_{i=1}^m \frac{(+\alpha_i)(HB)_i}{q_i} + \sum_{j=1}^p \frac{(-\alpha_j)(BB)_j}{q_j} \right)$$

де ВВ і НВ взято зі своїми знаками.

Приклад. Розв'яжемо попереднє завдання за допомогою розглядуваного методу. Жорсткість пружний $Z_0 = G^1 \alpha^4 8^{-1} D^{-3} n^{-1} = 2 \text{ Н/мм}$.

Допуски на характеристики $\delta_Q = + 1600 \text{ МПа}$; $\delta_d = - 0,05 \text{ мм}$; $\delta_D = +0,5 \text{ мм}$; $\delta_n = -0,1$. За (2.42a) маємо

$$(BB)_Z = 2 \cdot \left(\frac{1 - (+1600)}{80000} + \frac{(-1) \cdot (-0.1)}{10} \right) = 2 \cdot (0.02 + 0.01) = +0.06 \text{ Н/м}$$

$$(HB)_Z = 2 \cdot \left(\frac{4 \cdot (-0.05)}{2} + \frac{(-3) \cdot (+0.5)}{20} \right) = 2 \cdot (-0.1 - 0.075) = +0.35 \text{ Н/м}$$

Простіше одержимо таку саму відповідь: $Z = 2_{-0.35}^{+0.06} \text{ Н/м}$

3. Метод розрахунку у відносних похибках. У приладобудуванні іноді трапляються випадки, коли при розрахунках параметричної взаємозамінності доводиться оперувати величинами різної фізичної природи, що мають важко сумісні розмірності: електричні, магнітні, лінійні, кутові, механічні тощо, що ускладнює аналіз точності. Тому в цих випадках параметричну взаємозамінність функціональних елементів бажано розглядати у відносних, безрозмірних величинах. Такими можуть бути відносні похибки всіх функціонально пов'язаних параметрів або відсоток похибки.

На основі виразу (2.41) маємо.

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = \sum \alpha_i \frac{\Delta q_i}{q_i} \quad \text{або} \quad \frac{\delta_Q}{\delta_0} = \sum \alpha_i \frac{\delta_i}{\delta_i}$$

де $\Delta q_i, \delta_i$ - похибки вхідних характеристик і допуски на них.

Позначивши відносні похибки відповідно θ_Q і θ_i , дістанемо

$$\theta_Q = \sum \alpha_i \theta_i; \quad (2.43)$$

у відсотковому вираженні

$$\theta_Q = \sum \alpha_i \theta_i \cdot 100\%.$$

Приклад. Проаналізувати точність виготовлення щодо ємності багатоплощинного плоского конденсатора, в якого чотири пари пластин залито в полістирол. Ємність плоского конденсатора, пФ:

$$C = 0,88 \varepsilon S (n-1) / d,$$

Де ε - діелектрична проникність полістиролу, $\varepsilon = 2,5$; S - робоча площа пластини, $S=2\text{см}^2$; n - кількість пластин, $n=8$; d - товщина діелектрика, $d = 1$ мм.

Номинальне значення ємності

$$C = 0,88 \cdot 2,5 \cdot 2 \cdot (8-1) / 1 = 30,8 \text{ пФ}.$$

На виробництві прийнято такі похибки: $\Delta \varepsilon = 0,2$; $\Delta S = 0,2\text{см}^2$; $\Delta d = 0,1$ мм. Тоді похибка $\theta_c = 0,2/2,5 + 0,2/2 + 0,1/1 = 0,28$ (при $d_i=1$); у відсотковому вираженні $\theta_c = 8\% + 10\% + 10\% = 28\%$.

Щоб збільшити точність, треба збільшити точність виготовлення S і d .

Обернене завдання

У процесі розробки приладу часто задають потрібне значення вихідного фізичного параметра Q_o функціонального елемента та його можливі відхилення - допуск - δ_Q . На виробництві потрібно витримати такі вхідні характеристики та їх допустимий розкид за значенням, щоб забезпечити дану умову. Задача технологів - найпростіше вирішити дане питання за рахунок вибору з безлічі вхідних параметрів одного, технологічно найгнучкішого, варіюючи яким, можна найлегше та найдешевше змінювати параметр Q_o . Такий вхідний параметр називають компенсатором q_K і він повинен мати високу тісноту кореляційних зв'язків з вихідною величиною Q_o . З усіх можливих методів розв'язання даного завдання розглянемо два основних.

I. Метод частинного диференціювання. Відшукується рівняння кореляційного зв'язку між відомою вихідною величиною і вхідними характеристиками $Q_o = \varphi_o(q_i)$. Допуск на відхилення вихідного параметра пов'язаний із допусками на величину цих характеристик співвідношенням (2.39). З наявної множини вхідних характеристик n вибираємо технологічно найгнучкішу і таку, що перебуває в тісному кореляційному зв'язку вихідною величиною, і робимо її компенсатором:

$$\delta_Q = \sum_{i=1}^{n-1} (\dot{a}_i \delta_i) + (\dot{a}_k \delta_k).$$

Тоді допуск δ_k на компенсуючий параметр, не враховуючи знаків, визначиться умовою

$$\delta_k = \frac{1}{\dot{a}_k} (\delta_Q - \sum_{i=1}^{n-1} (\dot{a}_i \delta_i)). \quad (2.45)$$

На виробництві звичайно допуск задають верхнім і нижнім відхиленнями, які знаходять, враховуючи комбінації знаків, при $\dot{a}_k$ і $(\dot{a}_i \delta_i)$ з виразів.

За позитивного коефіцієнта впливу в компенсуючої величини $(+\dot{a}_k)$, тобто компенсуючий фактор збільшуючий:

$$\begin{aligned} (BB)_k &= \frac{1}{\dot{a}_k} ((BB)_Q - (\sum_{i=1}^{m-1} (\dot{a}_i)(BB_i)_{зб} + \sum_{j=1}^p (-\dot{a}_j)(HB_j)_{зм})) \\ (HB)_k &= \frac{1}{\dot{a}_k} ((HB)_Q - (\sum_{i=1}^{m-1} (\dot{a}_i)(HB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^p (-\dot{a}_j)(BB_j)_{зм})) \end{aligned} \quad (2,46, a)$$

Якщо компенсатор вибраний з числа зменшуючих характеристик і q_i має $(-\dot{a}_k)$, то, враховуючі що його $(BB)_k$ знаходиться у нижньому ряду, потрібно його підтягнути до гори. Тоді отримаємо:

$$\begin{aligned}(BB)_k &= -\frac{1}{\dot{a}_k}((HB)_Q - (\sum_1^m (\dot{a}_i)(HB_i)_{зб} + \sum_1^{p-1} (-\dot{a}_j)(BB_j)_{зм})) \\(HB)_k &= -\frac{1}{\dot{a}_k}((HB)_Q - (\sum_1^m (\dot{a}_i)(BB_i)_{зб} + \sum_1^{p-1} (-\dot{a}_j)(HB_j)_{зм}))\end{aligned}\quad (2,46, б)$$

В одержаних виразах значення $\pm(\dot{a}_i\delta_i)$ визначаються відповідними комбінаціями знаків за коефіцієнтами впливу $\dot{a}_i$ допусками δ_i .

Приклад. Щоб усунути бічні зазори в зубчастому кінематичному ланцюгу манометричного приладу, при складанні встановлюють плоску спіральну пружину (волосок), яка забезпечує постійний натяг у ланцюгу за рахунок утворюваного крутного, моменту M_0 :

$$M_0 = \epsilon h^3 E \gamma / 12 L ,$$

де γ - кут закручення, $\gamma = 1$ рад; ϵ - ширина стрічки, $\epsilon = 2,1$ мм; h - товщина стрічки, $h = 0,2$ мм; L - розгорнута довжина пружини, яку беремо з розрахунку 5 витків за внутрішнього радіуса пружини $r = 4$ мм, зовнішнього $R = 10$ мм ($L = 220$ мм). Пружина з вуглецевої сталі з модулем пружності $E = 22 \cdot 10^4$ МПа.

Номінальне значення крутного моменту для даної пружини $M_0 = 1,4$ Н·см. При цьому задають допуск на момент $\delta_m = 0,35$, коли $(BB)_m = +0,07$; $(HB)_m = -0,28$. Слід призначити допуски на вхідні характеристики, що забезпечують задану умову. Технологічний аналіз вхідних характеристик спіральної пружини показує, що найбільшу кореляцію має товщина пружини, а технологічну простоту має довжина L , яка стоїть у знаменнику, тобто має від'ємний показник, то коефіцієнт впливу $\dot{a}_k = -\dot{a}_L$. Для компенсатора допуск знаходять за виразами (2.46, б):

$$\begin{aligned}(BB)_L &= -\frac{1}{\dot{a}_L}[(HB)_M - ((-\dot{a}_\epsilon \delta_\epsilon) + (-\dot{a}_h \delta_h))]; \\(HB)_L &= -\frac{1}{\dot{a}_L}[(HB)_M - (\dot{a}_\epsilon \delta_\epsilon)].\end{aligned}$$

Виходячи з виробничих міркувань призначено такі допуски на інші вхідні

параметри: $\delta_\epsilon = -0,1$ мм; $\delta_h = -0,01$ мм; $\delta_E = 10^4$ МПа.

Виконуючи частинне диференціювання, визначаємо

$$\dot{a}_L = -\frac{\epsilon h^3}{12} \frac{E}{L^2} = -\frac{2,1 \cdot 0,2^3 \cdot 22 \cdot 10^4}{12 \cdot 220 \cdot 220} = -\frac{2,1}{330} = -0,00636;$$

$$\dot{a}_\epsilon \delta_\epsilon = \frac{h^3 E}{12 L} \delta_\epsilon = \frac{0,2^3 \cdot 22 \cdot 10^4}{12 \cdot 220} (-0,1) = 0,666(-0,1) = -0,0666;$$

$$\dot{a}_h \delta_h = \frac{3\epsilon h^2 E}{12 L} \delta_h = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 0,2^2 \cdot 22 \cdot 10^4}{12 \cdot 220} (-0,01) = 21(-0,01) = -0,2100;$$

$$\dot{a}_E \delta_E = \frac{\epsilon h^3}{12 L} \delta_E = \frac{2,1 \cdot (0,2)^3}{12 \cdot 220} (10^4) = 0,0636 \cdot 10^{-2} (10^4) = +0,0636$$

Підставивши результати в задані рівняння, дістанемо

$$(BB)_L = \frac{(-0,28) - (-0,0666 - 0,21)}{-0,00636} = +0,53 \text{ мм};$$

$$(HB)_L = \frac{(+0,07) - (+0,0636)}{-0,00636} = -\frac{0,0064}{0,00636} = -1,00 \text{ мм}.$$

Заокругливши, одержимо відповідь: $L = 220_{-1,0}^{+0,5}$ мм.

Витримуючи довжину розгорнутої пружини в цих межах, можна забезпечити заданий момент M .

2. Метод відносної точності. Якщо рівняння кореляційних зв'язків (або передаточна функція) виражене степеневою залежністю, то знайти допуски на вхідні визначальні фактори для забезпечення заданої точності вихідного параметра функціонального елемента можна простіше – методом відносної точності.

Як і в попередньому методі, допуски на варіації більшості вхідних характеристик беруть виходячи з оптимальних виробничих умов економічності, а точність вихідного параметра забезпечується за рахунок визначення точності компенсуючого фактора. Компенсатор має тісно корелювати з вихідною величиною і бути легко технологічно забезпеченим.

Відокремимо у виразі (2.41) компенсатор:

$$\delta_Q = Q_o \left(\sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i} + \alpha_K \frac{\delta_K}{q_K} \right),$$

де α - показники степеня зі своїми знаками.

Допуск компенсуючого фактора

$$\delta_K = \frac{q_K}{\alpha_K} \left(\frac{\delta_Q}{Q_0} - \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i} \right).$$

Відхилення цього допуску $(BB)_K$ і $(HB)_K$ визначають відповідною комбінацією знаків при α_K і $(\alpha_i \delta_i)$.

Так, за наявності додатного показника степеня $+\alpha_K$, коли компенсуючий фактор стоїть у чисельнику як збільшувачий, функції відхилення будуть:

$$(BB)_k = \frac{q_k}{\alpha_k} \left(\frac{(BB)_Q}{Q_0} - \left(\sum_{i=1}^{m-1} (+\alpha_i) \frac{(BB_i)_{зб}}{q_i} + \sum_{j=1}^p (-\alpha_j) \frac{(HB_j)_{зм}}{q_j} \right) \right) \quad (2,47, а)$$

$$(HB)_k = \frac{q_k}{\alpha_k} \left(\frac{(HB)_Q}{Q_0} - \left(\sum_{i=1}^{m-1} (+\alpha_i) \frac{(HB_i)_{зб}}{q_i} + \sum_{j=1}^p (-\alpha_j) \frac{(BB_j)_{зм}}{q_j} \right) \right)$$

За наявності від'ємного показника степеня $(-\alpha_K)$, коли компенсуючий фактор міститься в знаменнику, функції відхилення

$$(BB)_k = -\frac{q_k}{\alpha_k} \left(\frac{(HB)_Q}{Q_0} - \left(\sum_{i=1}^m (+\alpha_i) \frac{(HB_i)_{зб}}{q_i} + \sum_{j=1}^{p-1} (-\alpha_j) \frac{(BB_j)_{зм}}{q_j} \right) \right) \quad (2,47, б)$$

$$(HB)_k = -\frac{q_k}{\alpha_k} \left(\frac{(BB)_Q}{Q_0} - \left(\sum_{i=1}^m (+\alpha_i) \frac{(BB_i)_{зб}}{q_i} + \sum_{j=1}^{p-1} (-\alpha_j) \frac{(HB_j)_{зм}}{q_j} \right) \right)$$

У даних виразах значення $\pm(\alpha_i \delta_i)$ обчислюють відповідною комбінацією знаків за показниками степеня α_i і допусками δ_i .

Приклад. Розв'яжемо попереднє завдання щодо забезпечення заданого крутного моменту в спіральній пружині, що дорівнює $1,4_{-0,28}^{+0,07}$ Н см.

Допуски та номінальні значення характеристик ті самі: $\varphi = 2,1$ мм; $\delta_\varphi = -0,1$; $h = 0,2$ мм; $\delta_h = -0,01$ мм; $E = 22 \cdot 10^4$ МПа; $\delta_E = 10^4$; $L = 220$ мм; δ_K - компенсатор. Показник степеня компенсатора $\alpha_L = -1$. На основі (2.47б) при $\alpha_L = -1$

$$\begin{aligned} (BB)_L &= -\frac{L}{\alpha_L} \left[\frac{(HB)_M}{M_0} - \left(\frac{-(\alpha_\varphi \delta_\varphi)}{\varphi} - \frac{-(\alpha_h \delta_h)}{h} \right) \right] = \\ &= -220 \left(\frac{-0,28}{1,4} - \left(\frac{-0,1}{2,1} - \frac{3 \cdot 0,01}{0,2} \right) \right) = -220(-0,0024) = +0,53(\text{мм}); \end{aligned}$$

$$(HB)_L = -\frac{L}{\alpha_L} \left[\frac{(BB)_M}{M_o} - \left(\frac{+(\alpha_E \delta_E)}{E} \right) \right] =$$

$$= -220 \left(\frac{0,07}{1,4} - \left(\frac{+1 \cdot 10^4}{22 \cdot 10^4} \right) \right) = -220(0,0045455) = -1,0(\text{мм}).$$

Отже, одержано аналогічний результат, але простішим методом:

$220_{-1,0}^{+0,5}$ мм (після заокруглення).

2.2.4.3. Точність функціональних перетворюючих пристроїв

Функціональні перетворюючі пристрої або системи широко застосовують у приладобудуванні для перетворення вхідного сигналу у вихідний параметр певного рівня. Це можуть бути перетворювачі електричні - потенціометри; підсилювачі сигналів; перетворювачі амплітудно-частотних характеристик; перетворювачі кількості руху у вигляді важільних, зубчастих або гвинтових передач; перетворювачі частоти; диференціюючі інтегруючі пристрої електричних, кінематичних, пневматичних або гідравлічних систем; оптичні перетворювачі характеристик світлового потоку і пристрою передачі зображення тощо. Структурно найчастіше вони є ланцюжком послідовно розміщених функціональних елементів, здатних змінювати вхідну величину, що проходить через них - сигнал у вихідний параметр певного рівня тієї самої або іншої фізичної природи (рис. 2.13). Паралельні або мішані побудови таких перетворюючих пристроїв на практиці зустрічаються нечасто. На структурній схемі U_o - вхідна величина, Q_o - вихідна, а $q_1, q_2, \dots, q_n$ - характеристики перетворюючих елементів, взяті за своїми початковими значеннями. Основна характеристика такого перетворювача, як пристрою - коефіцієнт перетворення:

$$K_o = \partial Q_o / \partial U_o.$$

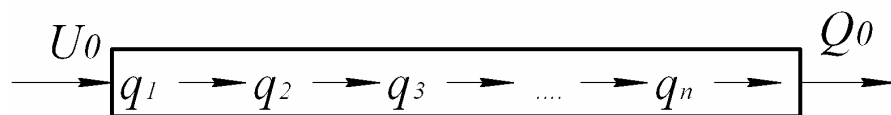


Рис.2.13. Структурна схема роботи функціональних перетворюючих пристроїв

Приклад. Розглянемо схему функціонального перетворювача на основі роботи

індуктивного вимірювального датчика для контролю точності виготовлення розміру H на деталі 1, який має електричну схему перетворення лінійного параметру вимірювання в мкм до кута повороту стрілки на приладі – міліамперметрі 5, який вказує результати проведеного вимірювання (рис. 2.14).

При зміні розміру деталі 1 на величину ΔH шток 2 приладу переміститься і якір 3, закріплений на штоку, змінить своє положення відносно індуктивних котушок 4. Це призведе до зміни зазорів α_a і α_b між якорем і котушками a і b , які мають відповідно свої активні електроопори R_a і R_b , а також реактивні опори r_a і r_b . У тій котушці, до якої зміститься якір 3 реактивний опір зросте на $+\Delta r$, а в іншій – впаде на $-\Delta r$.

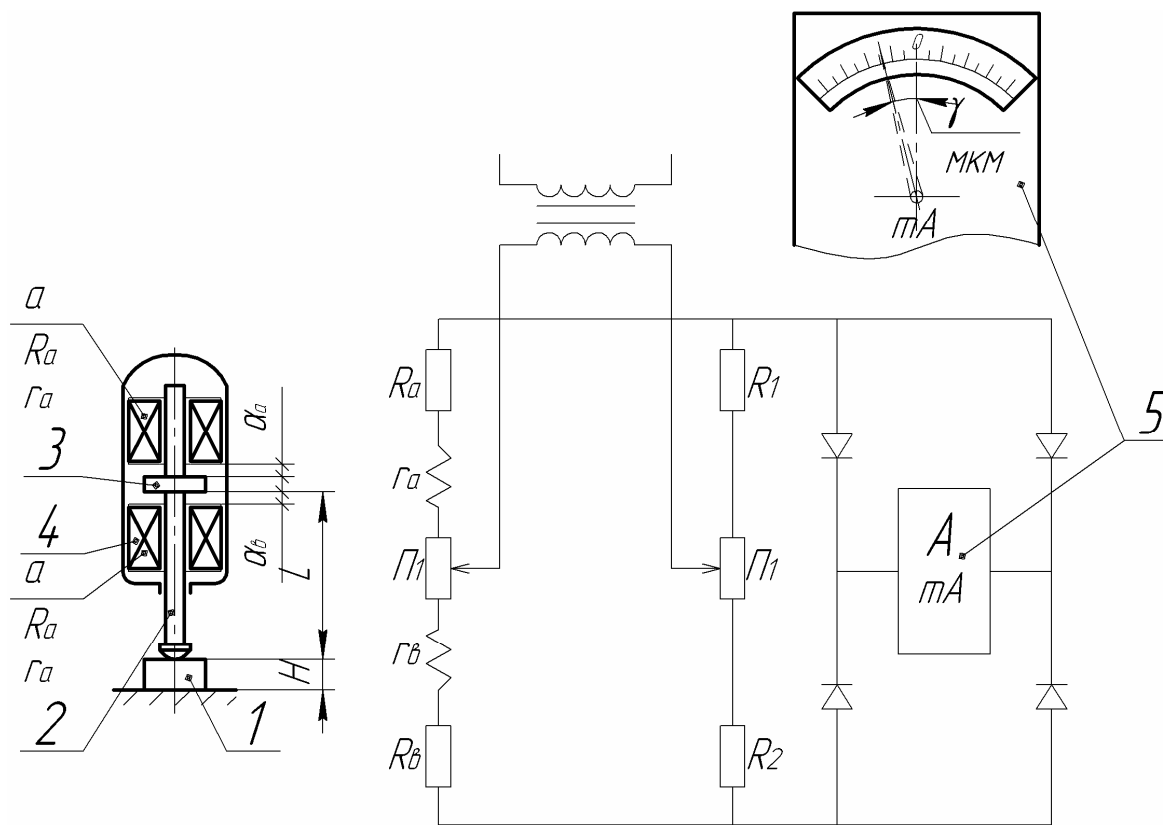


Рис. 2.14. Схема індуктивного датчика і перетворювача електросистеми на основі балансного електромосту

Котушки встановлені в балансний електроміст, в якому виникне електрострум $+\Delta I$, що покаже міліамперметр 5. Його стрілка повернеться на кут γ і по кількості штрихів n шкали амперметра, яка градуйована в мкм з ціною c (мкм), можливо визначити ΔH і розмір деталі.

Тоді функціональне перетворення цієї вимірювальної системи схематично можливо представити у вигляді:

$$\begin{array}{ccccccc} |\Delta H| & \longrightarrow & |\Delta L| & \longrightarrow & |\Delta \alpha| & \longrightarrow & |\Delta r| & \longrightarrow & |\Delta I| & \longrightarrow & |\Delta \gamma| & \longrightarrow & |nc| \\ |MKM| & & |MKM| & & |MKM| & & |OM| & & |MA| & & |зр. кут.| & & |MKM| \end{array}$$

Структурна схема такого перетворювача буде мати такий вигляд (рис. 2.15):

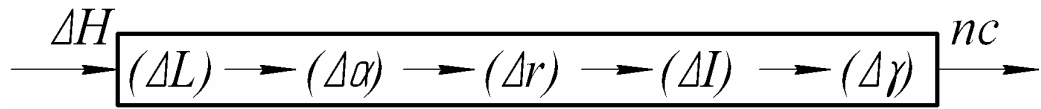


Рис.2.15. Структурна схема перетворювання при вимірі розмірів деталей

Внутрішні функціональні зв'язки між означеними характеристиками можуть бути нелінійними і складаними.

Коефіцієнт перетворення у такій системі буде:

$$K_0 = \frac{\partial(\Delta H)}{\partial(nc)}$$

Номінальне значення вихідного фізичного параметра в цьому разі назначається рівнянням зв'язку або передаточною функцією

$$Q_o = U_o \varphi_o(q_1, q_2, \dots, q_n) = U_o \varphi_o(q_i).$$

Рівняння зв'язку дійсних значень величин має вигляд

$$Q = U \varphi(q_i + \Delta q_i),$$

де Δq_i - похибка роботи кожного проміжного елемента перетворюючого пристрою; $U = U_o + \Delta U$; ΔU - допустиме значення варіації вхідного сигналу.

Застосовуючи таку саму методику визначення похибки вихідного параметра, що й для функціональних елементів, і на основі методу суперпозиції можна визначити ΔQ в загальному вигляді:

$$\Delta Q = \frac{\partial Q_o}{\partial U_o} \Delta U + \sum_{i=1}^n \frac{\partial Q_o}{\partial q_i} \Delta q_i, \quad (2.48)$$

У цьому виразі частинні похідні $\partial Q_o / \partial q_i = \partial U_o \varphi_o(q_i) / \partial q_i$ можна розглядати як частинні коефіцієнти перетворення кожним елементом пристрою, позначені K_i . Тоді

$$\Delta Q = K_o \Delta U + \sum_{i=1}^n K_i (\Delta q_i).$$

Другий член даного виразу визначає похибку перетворення пристрою і служить його якісною характеристикою точності.

Переходячи до допусків на відхилення параметрів, допуск на параметр Q_o можна визначити так:

$$\delta_Q = K_o \delta_u + \sum^n K_i \delta_i. \quad (2.49)$$

Граничні відхилення δ_Q визначаються знаками при коефіцієнтах перетворення і допусках характеристик, які входять до виразу.

Знайдемо відхилення допуску вихідного параметра двома методами.

I. Метод частинного диференціювання. На основі виразів (2.40) і (2.49), розбивши первинні характеристики перетворювача на збільшуючі та зменшуючі, згідно зі знаком показника степеня кожної величини, можна записати:

$$(BB)_Q = K_o (BB)_u + \left[\sum^m (+K_i)(BB)_i + \sum^p (-K_j)(HB)_j \right]; \quad (2.50)$$

$$(HB)_Q = K_o (HB)_u + \left[\sum^m (+K_i)(HB)_i + \sum^p (-K_j)(BB)_j \right];$$

де $(m+p)=n$; m, p – число параметрів відповідно збільшуючих і зменшуючих.

Приклад. Визначимо точність роботи мідного кільцевого потенціометра за кутом повороту $R_\gamma = \varphi(\gamma)$.

Основна характеристика потенціометра (вихідний параметр) - опір, який визначається так:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{4\rho l_B n}{\pi d^2},$$

Де ρ - питомий опір дроту, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$; l, l_B - довжина відповідно дроту та одного витка, мм ; S - площа поперечного перерізу, мм^2 ; d – діаметр дроту, мм ; n - кількість витків дроту, яка визначається довжиною дуги потенціометра і кроком намотування t дроту, $n = \gamma \pi D / 360 t$.

Тоді опір потенціометра в секторі кута γ , Ом ;

$$R_\gamma = (\rho l_B D \gamma) / (90 d^2 t),$$

де D – діаметр потенціометра, мм .

Таким чином, γ - вхідна величина; R_γ - вихідний параметр, а решта параметрів перетворюючі елементи. Вхідна характеристика – кут повороту ручки струмознімача $\gamma = 90^\circ$ із допуском на зазор у механізмі повороту $\delta_\gamma = -I^\circ$; $(HB)_\gamma = -I^\circ$; $(BB)_\gamma = 0$.

Задано величину характеристик і допуски: $\rho = 17 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$; допуск $\delta_\rho = 1 \cdot 10^{-6}$; $(BB)_\rho = +1 \cdot 10^{-6}$; $l_B = 20 \text{ мм}$; через вільне намотування $\delta_B = +0,5$; $(BB)_B = +0,5$; $D = 50 \text{ мм}$; при виготовленні $\delta_D = -0,2$; $(BB)_D = 0$; $(HB)_D = -0,2$; $d = 0,2 \text{ мм}$; $\delta_D = -0,01 \text{ мм}$; $(BB)_D = 0$; $(HB)_d = -0,01$; $t = 1 \text{ мм}$; похибка намотування $\delta_t = -0,05$; $(BB)_t = 0$; $(HB)_t = -0,05$. Номінальне значення $R_\gamma = 0,425 \text{ Ом}$ при $\gamma = 90^\circ$. Тоді згідно з (2.50) і з урахуванням BB і HB допусків

$$(BB)_R = [K_\rho(BB)_\rho + K_B(BB)_B] + [(-K_d)(HB)_d + (-K_t)(HB)_t];$$

$$(HB)_R = [K_\gamma(HB)_\gamma + K_D(HB)_D]$$

де $K_\gamma = K_o$.

Використовуючи умови знаходження факторів у суперпозиції, визначаємо окремо похідні, ураховуючи допуски:

$$K_\rho(BB)_\rho = \frac{l_B D \gamma}{90 d^2 t} \delta_\rho = \frac{20 \cdot 50 \cdot 90}{90 \cdot 0,2^2 \cdot 1} \left(\frac{1}{10^6} \right) = +0,0250 \text{ Ом};$$

$$K_B(BB)_B = \frac{\rho D \gamma}{90 d^2 t} \delta_B = \frac{17 \cdot 50 \cdot 90}{10^6 \cdot 90 \cdot 0,2^2 \cdot 1} \left(\frac{5}{10} \right) = +0,0106 \text{ Ом};$$

$$K_d(HB)_d = -\frac{2 \rho l_B D \gamma}{90 d^3 t} \delta_d = -\frac{2 \cdot 17 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 90}{10^6 \cdot 90 \cdot 0,2^3 \cdot 1} \left(-\frac{1}{10^2} \right) = +0,0425 \text{ Ом};$$

$$K_t(HB)_t = -\frac{\rho l_B D \gamma}{90 d^2 t^2} \delta_t = -\frac{17 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 90}{10^6 \cdot 90 \cdot 0,2^2 \cdot 1^2} \left(-\frac{5}{10^2} \right) = +0,0212 \text{ Ом};$$

$$K_o(HB)_\gamma = -\frac{\rho l_B D}{90 d^2 t} \delta_\gamma = -\frac{17 \cdot 20 \cdot 50}{10^6 \cdot 90 \cdot 0,2^2 \cdot 1} (-1) = -0,0047 \text{ Ом};$$

$$K_D(HB)_D = \frac{\rho l_B \gamma}{90 d^2 t} \delta_D = \frac{17 \cdot 20 \cdot 50}{10^6 \cdot 90 \cdot 0,2^2 \cdot 1} \left(-\frac{2}{10} \right) = -0,0017 \text{ Ом};$$

Таким чином, підсумовуючи складові, одержуємо

$$(BB)_R = 0,0250 + 0,0106 + 0,0425 + 0,0212 = +0,0993 \text{ Ом.}$$

$$(HB)_R = (-0,0047) + (-0,0017) = -0,0064 \text{ Ом.}$$

Відповідь: $R_\gamma = 0,425^{+0,0993}_{-0,0064} \text{ Ом}$ при повороті на кут $\gamma = 90^\circ$.

2.Метод відносної точності. Якщо кореляційні зв'язки між вхідними, перетворюючими і вихідними параметрами перетворюючих пристроїв можна виразити степеневими залежностями в явній формі, то завдання визначення відхилень вихідного параметра можна розв'язати простіше методом відносної точності. Замінюючи процес частинного диференціювання множенням на показник степеня і діленням відхилення параметра на (2.42) і (2.48) можна записати у вигляді відносної точності:

$$\delta_Q = Q_o \left(\alpha_u \frac{\delta_u}{u_o} + \sum^n \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i} \right).$$

З урахуванням знаків при показниках степеня і відхилень параметрів на основі (2.42) визначають граничні відхилення:

$$(BB)_Q = Q_o \left(\alpha_u \frac{(BB)_u}{U_o} + \sum^m (+\alpha_i) \frac{(BB)_i}{q_i} + \sum^p (-\alpha_j) \frac{(HB)_j}{q_j} \right); \quad (2.51)$$

$$(HB)_Q = Q_o \left(\alpha_u \frac{(HB)_u}{U_o} + \sum^m (+\alpha_i) \frac{(HB)_i}{q_i} + \sum^p (-\alpha_j) \frac{(BB)_j}{q_j} \right);$$

(BB і HB беруть зі своїми знаками).

Приклад. Розв'яжемо попереднє завдання щодо визначення точності роботи кільцевого потенціометра, коли рівняння зв'язку має вигляд $R_\gamma = \rho^{+1} l_B^{+1} D^{+1} \gamma^{+1} 90^{-1} \alpha^{-2} t^{-1}$. Ураховуючи допуск та їх відхилення на параметрі, маємо

$$\begin{aligned} (BB)_R &= R_\gamma \left(\alpha_\rho \frac{(BB)_\rho}{\rho} + \alpha_B \frac{(BB)_B}{l_B} + (-\alpha_\alpha) \frac{(HB)_d}{d} + (-\alpha_t) \frac{(HB)_t}{t} \right) = \\ &= 0,0425 \left(\frac{10^6}{10^6 \cdot 17} + \frac{0,5}{20} + \frac{(-2)(-0,01)}{0,2} + \frac{(-1)(-0,05)}{1} \right) = \\ &= 0,425(0,0583 + 0,025 + 0,1 + 0,05) = +0,0993; \end{aligned}$$

$$(HB)_R = R_\gamma \left(\alpha_\gamma \frac{(HB)_\gamma}{\gamma} + \alpha_D \frac{(HB)_D}{D} \right) =$$

$$= 0,425 \left(\frac{(-1)}{90} + \frac{(-0,2)}{50} \right) = 0,425(-0,0111 - 0,004) = -0,0064.$$

Таким чином, одержимо аналогічну відповідь: у разі повороту струмознімача на кут 90^0 опір кільцевого потенціометра зміниться на $R_{90^0} = 0,425^{+0,0993}_{-0,0064} \text{ Ом}$.

Обернене завдання

На практиці часто потрібно мати визначене значення вихідного фізичного параметру Q з функціонального перетворювача щоб забезпечити надійну роботу всієї системи, де використовують цей перетворювач. Тому задати потрібне значення параметру Q з визначеними відхиленнями при заданих умовах допустимих коливань вхідного параметру U . Задача технолога – вирішити дане питання за рахунок обраного компенсуючого елемента в перетворювачі, який технологічно найгнучкіший і, варіюючи його значенням, забезпечити потрібне значення Q . Розглянемо розв’язання даного завдання двома методами.

1. Метод частинного диференціювання. Маємо раніше отриману залежність допуску вхідного параметру:

$$\delta_Q = K_0 \delta_U + \sum_1^n K_i \delta_i.$$

Обираємо компенсуючий елемент перетворювача і знаходимо його значення:

$$\delta_Q = K_0 \delta_U + \left(\sum_1^{n-1} K_i \delta_i + K_K \delta_K \right)$$

$$\delta_K = \frac{1}{K_K} (\delta_Q - (K_0 \delta_U + \sum_1^{n-1} K_i \delta_i)), \quad (2.52)$$

де K_K – частинний коефіцієнт перетворення компенсуючого елемента пристрою, як часткова похідна $\frac{\partial Q_0}{\partial q_K}$, котра вказує на ступінь впливу компенсуючого елемента на вихідний параметр Q .

Обраний компенсуючий елемент може впливати на вихідну величину Q як збільшуючий, так і зменшуючий.

Якщо коменсуючий елемент є збільшуючим, коли $(+K_K)$, то отримаємо значення відхилень $(BB)_K$ і $(HB)_K$ компенсатора в вигляді:

$$(BB)_K = \frac{1}{K_K} ((BB)_Q - (K_0(BB)_U + (\sum_{i=1}^{m-1} (+K_i)(BB)_i + \sum_{j=1}^p (-K_j)(HB)_j))) \quad (2.53)$$

$$(HB)_K = \frac{1}{K_K} ((HB)_Q - (K_0(HB)_U + (\sum_{i=1}^{m-1} (+K_i)(HB)_i + \sum_{j=1}^p (-K_j)(BB)_j))).$$

Якщо компенсуючий елемент впливає на Q як зменшуючий, коли він має $(-K_K)$, то отримаємо залежності в вигляді:

$$(BB)_K = -\frac{1}{K_K} ((HB)_Q - (K_0(HB)_U + (\sum_{i=1}^m (+K_i)(HB)_i + \sum_{j=1}^{p-1} (-K_j)(BB)_j))) \quad (2.54)$$

$$(HB)_K = -\frac{1}{K_K} ((BB)_Q - (K_0(BB)_U + (\sum_{i=1}^m (+K_i)(BB)_i + \sum_{j=1}^{p-1} (-K_j)(HB)_j))).$$

В отриманих залежностях (BB) і (HB) беруться зі своїми знаками.

2. Метод відносної точності. Якщо рівняння кореляційних зв'язків або передаточна функція виражена степеневою залежністю, то знайти відхилення допуску компенсую чого елементу можливо простіше – методом відносної точності без часткового диференціювання складних залежностей з показниками ступеня типу $Q_0 = U_0 \prod q_i^{\alpha}$, замінивши його простими математичними діями.

Маємо отриману раніше залежність:

$$\delta_Q = Q_0 (\alpha_U \frac{\delta_U}{U_0} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i})$$

Знаходимо значення допуску на коменсуючий елемент:

$$\delta_Q = Q_0 (\alpha_U \frac{\delta_U}{U_0} + (\sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i} + \alpha_K \frac{\delta_K}{q_K})),$$

де α_K - показник ступеня компенсатора значенням q_K .

$$\delta_K = \frac{q_K}{\alpha_K Q_0} (\frac{\delta_Q}{Q_0} - (\alpha_U \frac{\delta_U}{U_0} + \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i})) \quad (2.55)$$

Так як обраний компенсуючий елемент перетворювача може впливати на

вихідний параметр по різному, тобто як збільшуючий, або як зменшуючий, то отримаємо дві групи залежностей.

Якщо компенсуючий елемент в пристрої впливає на вихідну величину як збільшуючий, то тоді отримаємо:

$$(BB)_k = \frac{q_k}{\alpha_k} \left(\frac{(BB)_Q}{Q_0} - \left(\alpha_U \frac{(BB)_U}{U_0} + \left(\sum_1^{m-1} (+\alpha_i) \frac{(BB)_i}{q_i} + \sum_1^p (-\alpha_j) \frac{(HB)_j}{q_j} \right) \right) \right) \quad (2.56)$$

$$(HB)_k = \frac{q_k}{\alpha_k} \left(\frac{(HB)_Q}{Q_0} - \left(\alpha_U \frac{(HB)_U}{U_0} + \left(\sum_1^{m-1} (+\alpha_i) \frac{(HB)_i}{q_i} + \sum_1^p (-\alpha_j) \frac{(BB)_j}{q_j} \right) \right) \right)$$

Якщо компенсуючий елемент зменшує вихідну величину, то показник степеня у нього буде $(-\alpha_k)$ і залежність відхилень компенсую чого елементу буде:

$$(BB)_k = -\frac{q_k}{\alpha_k} \left(\frac{(HB)_Q}{Q_0} - \left(\alpha_U \frac{(HB)_U}{U_0} + \left(\sum_1^m (+\alpha_i) \frac{(HB)_i}{q_i} + \sum_1^{p-1} (-\alpha_j) \frac{(BB)_j}{q_j} \right) \right) \right) \quad (2.56)$$

$$(HB)_k = -\frac{q_k}{\alpha_k} \left(\frac{(BB)_Q}{Q_0} - \left(\alpha_U \frac{(BB)_U}{U_0} + \left(\sum_1^m (+\alpha_i) \frac{(BB)_i}{q_i} + \sum_1^{p-1} (-\alpha_j) \frac{(HB)_j}{q_j} \right) \right) \right)$$

Таким чином можливо розв'язати таке обернене завдання для функціональних перетворюючих пристроїв простішим методом.

Глава 3. ТРУДОМІСТКІСТЬ СКЛАДАННЯ ПРИЛАДІВ

3.1. Технологічність складальних виробів

3.1.1. Оцінка рівня технологічності

Під технологічністю конструкції складального приладу або складальної одиниці розуміють її властивість, яка дає змогу скласти даний виріб якнайшвидше, застосовуючи найпростіші економічні та прогресивні технологічні процеси. Технологічність виробів потрібно розглядати, враховуючи масштаб виробництва та програму випуску виробів.

Конструкція вважається технологічною, якщо вона має найменшу трудомісткість виготовлення; низьку собівартість виробництва; короткий цикл складання; порівняно високий рівень уніфікації, стандартизації та нормалізації елементів; можливість застосування найпростіших і найпрогресивніших методів виготовлення та складання, що мають високу продуктивність, точність і надійність.

Технологічність виробу це відносний якісний його показник, який оцінюється порівнянням зазначених щойно характеристик виробництва з аналогічними, що їх мав базовий виріб.

Під базовим розуміють такий виріб, що його випускали раніше, найхарактерніший та найбільш вдалий даної групи приладів, яку випускає підприємство.

Оцінку рівня технологічності виробу в приладобудуванні регламентовано ГОСТ 14.201-73. Усі показники технологічності класифікують за ознаками об'єкта й області його застосування; кількості можливих ознак технологічності; областю аналізу; способом його вираження, значущості, системою оцінки.

Показники за об'єктом і областю застосування поділяють на виробничі та експлуатаційні. Показники за кількістю ознак технологічності бувають частинні, які характеризують лише одну ознаку технологічності, та комплексні, які

характеризують технологічність за кількома показниками. Показники з області аналізу поділяють на технічні та техніко-економічні.

За способом вираження їх поділяють на абсолютні та відносні. За значущістю вони бувають основними та додатковими. За системою оцінки показники поділяють на базової конструкції та конструкції виробу, який аналізується.

Склад показників у кожному конкретному випадку вибирається згідно з ГОСТ І4.202-73 стосовно даного виробу та виробництва. Розглянемо основні та додаткові показники, які найчастіше застосовують на практиці

3.1.2. Основні показники технологічності

Абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості і виготовлення виробу $T_{\text{в}}$ визначається трудомісткістю всіх складальних і випробних операцій процесу виготовлення: $T_{\text{в}} = \sum T_{\text{шт.к}} i$, де $T_{\text{шт.к}i}$ -штучно-калькуляційний час (трудомісткість кожної операції технологічного процесу).

Показник технологічності за трудомісткістю - критерій $K_{\text{вт}}$ - визначається порівнянням цієї трудомісткості з базовим показником трудомісткості $T_{\text{бв}}$ за базовим виробом даної галузі:

$$K_{\text{вт}} = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{бв}}} \quad (3.1)$$

Технологічна собівартість виробу C визначається як сума витрат за одиницю виробу:

$$C_{\text{т}} = C_{\text{м}} + C_{\text{з.п}} + C_{\text{н.в}} + C_{\text{с.п}},$$

де $C_{\text{м}}$ - витрати на матеріал для виготовлення виробу; $C_{\text{з.п}}$ - заробітна плата виробничих робітників; $C_{\text{н.в}}$ - накладні цехові витрати на утримання виробництва з витратами на амортизацію та енергію; $C_{\text{с.п}}$ - витрати на спеціальну підготовку виробництва до випуску даного виробу. Тоді показник технологічності виробу за собівартістю

$$K_{\text{вс}} = \frac{C_{\text{т}}}{C_{\text{бт}}}, \quad (3.2)$$

де $C_{от}$ - технологічна собівартість базового виробу.

3.1.3. Додаткові показники технологічності

Розглянемо лише частину показників, які найповніше відбивають технологічність конструкції. При цьому їх числові значення взято орієнтовно із заводських частинних нормалей.

1. Показник уніфікації конструкції. Критерій уніфікації виробу

$$K_y = \frac{N_y + n_y}{N + n}, \quad (3.3)$$

де N_y, n_y - кількість уніфікованих відповідно складальних одиниць і деталей в конструкції, яка аналізується; N, n - число всіх складальних одиниць і деталей у приладі.

Під уніфікованими складальними одиницями та деталями розуміють широко застосовувані, нормалізовані елементи, куповані та стандартні. Порівняння ведуть за таких умов: якщо $K_y < 0,25$, то технологічність виробу низька; якщо $K_y = 0,25 \dots 0,5$, то задовільна; якщо $K_y > 0,5$, то хороша.

Коефіцієнт уніфікації складальних одиниць

$$K_{yN} = \frac{N_y}{N}, \quad (3.4)$$

Орієнтовно можна оцінювати за величиною: якщо $K_{yN} < 0,2$, то технологічність виробу низька; якщо $K_{yN} = 0,2 \dots 0,4$, то задовільна; якщо $K_{yN} > 0,4$, то хороша. Коефіцієнт уніфікації деталей виробу

$$K_{yn} = \frac{n_y}{n}, \quad (3.5)$$

Якщо $K_{yn} < 0,3$, то технологічність виробу низька; якщо $K_{yn} = 0,3 \dots 0,6$, то задовільна; якщо, $K_{yn} > 0,6$, то хороша.

2. Показник складеності конструкції. Визначається коефіцієнтом складності конструкції $K_{ск}$ який ураховує ступінь розчленованості всієї конструкції виробу на складальні одиниці N і деталі n :

$$K_{ск} = \frac{N}{n}, \quad (3.6)$$

Чим більший цей коефіцієнт, тим виріб має більшу технологічність, оскільки в такому випадку легше виконувати складання за рахунок паралельності складальних операцій на уніфікованих і спеціалізованих робочих місцях, легше виконувати контроль, нижча собівартість. Порівняльний аналіз можна вести з орієнтовних цифр: якщо $K_{ск} < 0,2$, то технологічність виробу низька; якщо $K_{ск} = 0,2 \dots 0,4$, то задовільна; якщо $K_{ск} > 0,4$, то хороша.

3. Показник уніфікації застосовуваних складальних процесів. Цей показник характеризує технологічність виробу з погляду простоти освоєння його на виробництві за рахунок можливості застосування при його складанні раніше застосовуваних, добре освоєних і оснащених складальних процесів, які називаються в цьому разі уніфікованими, відомими в галузі. До таких процесів належать згвинчування, пресування, паяння, монтаж шарикопідшипникових опор, намотувальні процеси та ін. Технологічність аналізованого виробу за показником уніфікації застосовуваних процесів оцінюється коефіцієнтом застосування типових для галузі технологічних процесів:

$$K_{mn} = Q_{mn} / Q_n, \quad (3.7)$$

де Q_{mn} - кількість типових технологічних операцій, уніфікованих за даною галуззю приладобудування; Q_n - кількість усіх необхідних для складання даного виробу операцій.

Порівняльні значення такі: якщо $K_{mn} < 0,5$, то технологічність виробу низька; якщо $K_{mn} = 0,5 \dots 0,7$, то задовільна; якщо $K_{mn} > 0,7$, то хороша.

3.2. Продуктивність і трудомісткість складальних робіт.

Однією з найголовніших техніко-економічних характеристик виробництва при випуску виробів є продуктивність праці. Продуктивність з одного боку, оцінює ефективність даного виробництва, його кількісні можливості, рівень технічної оснащеності та довершеності, а з іншого - ступінь технологічної складності виробу,

його технологічність, трудомісткість виготовлення.

Під продуктивністю розуміють кількість виробів, які випускає за певний час будь-який підрозділ підприємства :одне робоче місце, дільниця, цех, тощо.

Продуктивність оцінюється за виразом

$$P=\Phi/T_1 , \quad (3.8)$$

де Φ - розрахунковий фонд часу (це може бути час однієї зміни, доби, тижня, місяця або річний фонд робочого часу, для однозмінної роботи $\Phi = 2070$ годин); T_1 - трудомісткість виготовлення одного виробу або його окремого елемента, годин.

Трудомісткість – це потрібна кількість часу в годинах або хвилинах для виготовлення одного виробу або його частин за умов даного виробництва. Часто трудомісткість використовують для оцінювання тривалості якихось виробничих технологічних процесів. На виробництві трудомісткість виконання будь-яких робіт називають технологічною нормою часу, або нормативами часу.

Залежно від типу виробництва (одиничного, дрібносерійного, серійного, велико серійного та масового) нормативи часу, які використовують для нормування складальних робіт, відрізняються за рівнем розчленованості (диференційовані, збільшені, тимчасові, завищені) і масштабом застосування (загальнодержавні, галузеві чи заводські). Технологічний процес складання в одиничному та дрібносерійному виробництві звичайно не деталізується, різні роботи виконує один складальник, технологічна підготовка виробництва в цьому разі неглибока, тому й норми часу операцій беруть збільшеними.

У великосерійному виробництві розчленованість технологічного процесу зростає разом із збільшенням програми випуску виробів. Водночас зростає також глибина технологічної підготовки, реальність її проведення, що визначає ефективність і рентабельність виробництва. За цих умов розроблюються і розраховуються диференційні норми часу – так звані розрахункові нормативи.

В основі розрахунку лежить час на виконання однієї складальної операції-основної структурної одиниці ТП. На виробництві цей час називається штучним і позначається $T_{шт}$. Основним його складовим є норми часу на проведення безпосередньо складальних, регулювально-налагоджувальних та інших робіт – основний час складання T_o і час на виконання усіх необхідних цільових рухів і

заходів складальником або наладчиком. Цей допоміжний час T_o який не перекривається основним, необхідний для підготовки елементів до складання, набору необхідних деталей, матеріалів та інструментів при складанні однієї складальної одиниці, їх візуального контролю, необхідного орієнтування, змащування, протирання тощо.

При складанні елементів на одній складальній операції можна виконувати одну або кілька складальних з'єднувальних або налагоджувально-регулювальних робіт. Тому основний час оцінюють як суму часу на виконання цих робіт:

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_{oi}, \text{ де } n - \text{кількість окремих робіт; } T_{oi} - \text{час виконання кожної роботи, хв.}$$

Допоміжний час операції також є сумою часу на виконання всіх допоміжних робіт і заходів: $T_d = \sum_{j=1}^m T_{dj}$, де m - кількість заходів, які не перекриває основний час;

T_{dj} - час виконання кожного заходу.

Операційний час

$$T_{оп} = T_o + T_d = \sum_{i=1}^n T_{oi} + \sum_{j=1}^m T_{dj} \quad (3.9)$$

Операційним називається час, який іде безпосередньо на виконання складальних робіт одного складального елемента. Крім цього часу до штучного часу операції входить також час на обслуговування складальної операції $T_{обсл}$ необхідний для того, щоб підтримувати складальне місце і всю застосовувану оснастку, інструмент та апаратуру у належному стані. Час на виконання цих робіт визначають у відсотках від операційного:

$$T_{обсл} = a T_{оп} / 100,$$

де a - число відсотків, $a=6-12\%$.

До штучного часу входить також час на періодичний відпочинок та задоволення природних потреб: $T_{відп} = b T_{оп} / 100$, де b - частка в відсотках від $T_{оп}$ (залежно від складності складання $b=4-8\%$). Тоді штучний час складальної операції

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{обсл} + T_{відп} = T_{оп} (1 + (a+b)/100) \quad (3.10)$$

Трудомісткість складання визначають штучно-калькуляційним часом, куди

входить підготовчо-кінцевий час $T_{нк}$ підготовки робочого місця до роботи:

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{нк} / N_{зм} \quad (3.11)$$

де $N_{зм}$ - змінне завдання щодо даної операції.

За трудомісткістю і складністю всі складальні роботи розбито на чотири категорії складності.

До першої категорії складності належать комплектувальні, промивальні та змащуванні процеси, прості з'єднувальні роботи, кріплення нарізкою.

Друга категорія складності - це складання з отриманням нероз'ємних з'єднань (паяння, зварювання, пресування тощо), одержання точних гвинтових з'єднань з контрируванням, рухомих з'єднань.

До третьої категорії складності належать складально-приганяльні роботи, всі контрольно-вимірювальні та регулювальні процеси, балансування, центрування, юстирування оптичних пристроїв, усі випробувальні види робіт.

Четверта категорія складності, до якої входять складні регулювально-налагоджувальні процеси, юстирування оптичних приладів із складною оптичною схемою; контроль, налагоджування складних електронних або оптико-електронних систем та їх випробування тощо.

Слід відзначити, що на трудомісткість складання та складність робіт істотно впливає технологічність приладів та їх елементів.

3.3. Підвищення продуктивність складання

Підвищення продуктивності складання поряд із поліпшенням якості виробів має першорядне значення в організації ефективного виробництва приладів, підвищення їх кон'юнктурності на світовому ринку. Рівень продуктивності визначає всі економічні та технічні показники будь-якого виробництва, його фінансово - економічний стан. Тому цьому питанню на виробництві приділяється надзвичайно багато уваги. Визначилося кілька шляхів розв'язання завдань підвищення продуктивності.

Перший шлях – поліпшення технологічної оснащеності робочих місць, тобто проведення комплексу організаційних заходів щодо розробки та впровадження на

складальних процесах найкращої організації праці за рахунок встановлення спеціальних пристроїв і технологічної апаратури, які б спрощували та механізували всю ручну працю, зменшували нервові напруження складальників через підвищену їх увагу до точності проведення процесу і дали змогу помітно скоротити операційний час складання та водночас підвищити гарантії якості складальних і контрольних робіт через наочність перевірки параметрів.

Другий шлях – автоматизація складальних процесів за рахунок впровадження напівавтоматичних і автоматичних приладів і систем, які повністю замінюють ручну працю. Такі установки працюють за оптимальним алгоритмом, завжди мають високу програмну видатність і забезпечують разом з тим задану якість виготовлення виробів.

Цим двом шляхам збільшення продуктивності технологічних процесів за рахунок максимальної технічної оснащеності робочих місць і автоматизації робіт, які мають багато спільного і часто не мають чітких кордонів, надається основна увага на більшості заводів. Це найпростіший розв'язок завдання, який не потребує значної перебудови виробництва продукції. Але ці шляхи потребують значних матеріальних витрат, що не завжди виправдане, і не використовують усіх резервів розв'язання даної проблеми.

Третій шлях збільшення продуктивності ґрунтується на уніфікації виробництва, під якою розуміють проведення більшості технологічних операцій складання виробів до єдиних форм, одноманітності складальних процесів, що дає змогу створювати спеціалізовані робочі місця по складанню певних схожих елементів і систем, оснащені відповідною оснасткою, як це робиться в ГТП.

Уніфікація виробництва має починатися з конструкторського проектування виробу, коли розробники повинні враховувати критерій технологічності виробу за уніфікацією елементів. Згідно з цим критерієм (3.3) чим більше в новому приладі таких елементів, тобто таких, які раніше себе добре зарекомендували та вже освоєні на заводах, коли особливості їх складання вже вивчені складальниками, тим більшу технологічність має виріб.

Подібність конструкторських ознак дає змогу чітко визначити також подібність технологічних процесів, що дає можливість уніфікувати устаткування,

оснастку тощо. За цих умов можна легко впроваджувати типові технологічні процеси або групове складання.

В усіх випадках така уніфікація виробництва сприяє підвищенню продуктивності праці, зниженню витрат на підготовку виробництва, а отже, отриманню низької собівартості виробів.

Четвертий шлях підвищення продуктивності праці – це широка інтеграція виробництва в галузі або між галузями та вдосконалення кооперації та поставок між ними. У цьому разі зростає програма випуску схожих елементів на кожному такому підприємстві, що дає змогу спеціалізувати їх за різновидами продукції, а отже, легко втілювати в життя перші три шляхи продуктивності. Підвищена програма випуску конструктивно подібної продукції дає можливість уніфікувати робочі місця та ділянки виробництва, широко їх технічно оснастити та встановити на них автоматичне устаткування та пристрої. Усе це в комплексі дає найкращу організацію праці та найбільшу її продуктивність.

Глава 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАННЯ

4.1. Завдання автоматизації складання

4.1.1. Основні уявлення про автоматизацію складальних процесів

У технологічному процесі виробництва приладів процес складання є кінцевим етапом, від якого значною мірою залежить якість продукції, яка випускається. Водночас автоматизація складальних процесів на підприємствах приладобудування не висока, що й зумовлює високий процент трудомісткості складання приладів. Автоматизуються переважно окремі складальні роботи за масового випуску виробів, а в усіх інших випадках майже все складання виконується вручну з використанням малої механізації. Це пояснюється тим, що розробка складального устаткування дуже складна і має свою специфіку, за якої не можна використати принципи автоматизації механообробки, що набули в приладобудуванні значного поширення. Пристрої механізації та автоматизації звичайно розробляються під технологічний процес і певне устаткування, тобто за технологічними ознаками із слабкою прив'язкою до конкретних деталей. Складальні пристрої мають бути гнучкими і проектуються під складання певного виробу, де враховуються в основному конструкторські ознаки виробу, його габаритні розміри та форма. Тому складальне устаткування невід'ємне від конструкції виробу та особливостей його складових, технологічної специфіки складальних робіт.

Будь-який прилад як багатoelementний пристрій формується в процесі складання певним послідовним з'єднанням складових його частин на складальних операціях. Кожна з таких операцій за технологічною сутністю пов'язана з такими роботами, як подавання елементів на складальну позицію, їх взаємна просторова орієнтація, відносні переміщення за певними координатами, стикування та закріплення в складальну одиницю. Складність автоматизації складальних робіт зумовлена їх великою різноманітністю. Необхідність виконання комплексу

взаємопов'язаних точних переміщень для кожної пари стикових деталей приладу потребує створення дуже складних пристроїв складальних машин просторової орієнтації. При цьому треба враховувати, що в процесі послідовного автоматичного з'єднання елементів відбувається нагромадження похибок їх взаємної орієнтації як виявлення технологічної спадковості та неточності попередніх процесів виготовлення. Необхідність компенсування цієї сумарної похибки просторової орієнтації стикових поверхонь у робочому просторі процесу складання значно ускладнює та здорожує складальні автомати, знижує надійність і ефективність їх роботи.

4.1.2. Ефективність автоматизації складання

Однією з невід'ємних умов поліпшення техніко-економічних показників складального процесу, підвищення його ефективності та якості праці складальників є механізація та автоматизація технологічних операцій складання, збільшення рівня оснащеності праці складальників приладами та механізмами. Ефективність складальних робіт оцінюється трьома групами показників, які характеризують технічний рівень виробництва, рівні організації праці та виробництва:

1. Показники, які характеризують технічний рівень виробництва. Рівень охоплення автоматизованою працею робітників складальних місць

$$A_{\text{охон}} = \frac{R_A}{R} 100, \quad (4.1)$$

де R_A - кількість робочих місць, де складання виконується за допомогою автоматів, механізмів; R - загальна чисельність робітників у складальному виробництві.

Рівень механізації та автоматизації виробничих процесів

$$A_{M.A.} = \frac{K_1 T_A + K_2 T_M}{T_{CK}}, \quad (4.2)$$

де K_1 , K_2 - коефіцієнти збільшення продуктивності в разі введення відповідно автоматичного та механізованого складання;

$$K_1 = \frac{P_A}{P_{p1}}; \quad K_2 = \frac{P_M}{P_{p2}}; \quad (4.3)$$

P_A , P_M - продуктивність праці відповідно на автоматизованих і механізованих робочих місцях; P_{p1} , P_{p2} - продуктивність процесу ручного складання відповідно на автоматизованих і механізованих місцях; T_A - складальний час операції, виконуваної автоматичним устаткуванням; T_M - складальний час виробництва за механізованої праці (машинно-ручний); T_{CK} - трудомісткість усього складального виробництва, год.

2. Показник, який характеризує рівень організації праці робочих місць:

$$A_{орг} = \frac{R_M (1 - K_{эф})}{R}, \quad (4.4)$$

де R_M - кількість робочих місць, які перебувають на рівні, нижчому за передбачений типовими рішеннями; $K_{эф}$ - коефіцієнт ефективності використання робочих місць і часу; R - загальне кількість робочих місць у процесі складання.

3. Показник, який характеризує рівень організації виробництва в процесі автоматизації і визначається як коефіцієнт ритмічності виробництва:

$$K_{ритм} = (1 - \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \dots + \Delta N_n}{N_{пл}}) 100, \quad (4.5)$$

де $\Delta N_1, \Delta N_2, \dots, \Delta N_n$ - відхилення від планового випуску $N_{пл}$ - план продукції за робочі дні 1, 2, ..., n ; n - кількість днів розглядуваного періоду.

Зазначені відхилення визначаються за кожним робочим днем:

$$\Delta N_i = N_{nli} - N_{phi}, \quad (4.6)$$

де $N_{пл}$, N_{ϕ} - випуск виробів з даних автоматизованих робочих місць відповідно плановий і фактичний; $i=1, 2, \dots, n$.

Раніше зазначалося, що заходи щодо автоматизації складальних процесів пов'язані з певними труднощами. Так, усі автоматичні складальні пристрої мають значну структурну складність через необхідність забезпечення кількох просторових маніпуляцій їх робочих елементів, які забезпечують певну послідовну взаємну орієнтацію складальних деталей. Точність таких переміщень не може забезпечити компенсацію нагромадженої похибки складання. Необхідно встановлювати

додаткові самоналагоджувальні пристрої. Це помітно ускладнює та здорожує такі системи, робить їх виготовлення та освоєння трудомісткими та дорогими. З іншого боку, такі пристрої та системи жорстко прив'язуються до певних деталей і складальних вузлів, конкретних приладів, що різко знижує рівень їх універсальності. А в приладобудуванні спостерігається часта зміна виробів, які випускаються, або їх програма економічно обмежує тип виробництва дрібносерійним. Усе це часто робить нерентабельним автоматизацію всього складального процесу. У багатьох випадках достатньою є лише мала механізація окремих робіт.

Різновид механізації або автоматизації визначається на кожному виробництві конкретними умовами і залежить від економічної доцільності. При цьому можна керуватися такими критеріями економічної ефективності.

1. Підвищення продуктивності праці:

$$\lambda = \left(\frac{P_2}{P_1} \right) > 1, \quad (4.7)$$

де P_1, P_2 - продуктивність процесу відповідно до та після автоматизації даного процесу;

$$P_1 = \frac{N_1}{T_1} \Delta \tau_1; \quad P_2 = \frac{N_2}{T_2} \Delta \tau_2 \quad (4.8)$$

N_1, N_2 - кількість складених виробів відповідно до та після автоматизації протягом календарного часу $\Delta \tau$; T_1, T_2 - загальна трудомісткість складання даних виробів відповідно до та після автоматизації.

Оскільки $\Delta \tau_1 = \Delta \tau_2$, то остаточно дістанемо співвідношення

$$\lambda = \frac{N_2}{N_1} \frac{T_1}{T_2}. \quad (4.9)$$

2. Зниження трудомісткості складання:

$$\varphi = \frac{T_2}{T_1} < 1. \quad (4.10)$$

3. Зниження собівартості продукції. З розділу вибору ефективного варіанта ТП собівартість

$$\gamma = \frac{C_2}{C_1} < 1, \quad (4.11)$$

де $C_2 = a_2 N_p + b_2$; $C_1 = a_1 N_p + b_1$; a_1, a_2 - поточні витрати на випуск виробів; N_p - річна програма випуску даних виробів; b_1, b_2 - одноразові витрати на підготовку виробництва.

Автоматизація завжди здорожує виробництво і $b_2 > b_1$. Щоб забезпечити виконання даної умови, потрібно, щоб справджувалась умова $a_2 < a_1$.

4. Критерій окупності вкладених на автоматизацію витрат. У приладобудуванні витрати на автоматизацію потрібно окупити не менш ніж за 3 роки, що є граничним терміном активної реалізації приладової продукції. Окупність

$$Z = \frac{P}{(C_1 - C_2)N_p},$$

де P - капітальні витрати на автоматизацію.

Розрахувавши всі наведені раніше критерії ефективності, можна зі значним ступенем імовірності визначити шляхи й масштаби автоматизації складання, за допомогою яких підвищуються економічні показники виробництва.

4.2. Автоматичні складальні системи

4.2.1. Основні напрямки автоматизації складання

Для розробки автоматичних пристроїв складання приладів або машин потрібно виконати ряд важливих робіт, які визначають основні параметри майбутнього пристрою. Насамперед потрібно виконати відпрацювання виробу на технологічність щодо спрощення або уніфікації складальних баз, що дасть змогу спростити системи орієнтації та пошуку майбутніх складальних пристроїв.

Другий етап - розробка математичної моделі автоматичного складального процесу на базі створення топологічної моделі технологічної системи та алгоритмів взаємодії складових компонентів виробу під час складання із забезпеченням бажаної якості. Модель будується на основі структурних параметрів виробу та технологічних обмежень на складання.

Третій етап полягає в попередньому проектуванні основних робочих елементів автоматичного складального пристрою. Необхідно правильно вибирати

систему координат взаємного переміщення елементів складального пристрою, використовуючи різні методи оцінки параметрів з'єднання деталей, які складають (спряжують). Залежно від різновиду базування цих компонентів, тобто форми базових поверхонь, які беруть участь у процесі спряження, вибирають відповідні орієнтуючі пристрої та в разі необхідності пристрої автоматичного пошуку. Такі пристрої пошуку необхідного взаємного положення спряжуваних поверхонь деталей, які складають, часто називають коректорами. Останні виконують певну корекцію позиціонування однієї деталі відносно іншої за рахунок деяких попередніх пошукових переміщень якогось компоненту. При цьому коректори повинні мати чутливу гнучкість і автоматичну систему реєстрації моменту правильного позиціонування компонентів, які складаються. У багатьох випадках такі системи будують на основі траєкторного автопошуку з добором оптимальної траєкторії переміщення деталі, яку орієнтують.

Четвертий, кінцевий, етап полягає в доборі та комплектуванні необхідного автоматичного пристрою із існуючих які випускаються серійно, систем або проектуванні нового устаткування на основі характерних необхідних рухів і спряжуваних поверхонь.

Як зазначалося, загальним недоліком традиційних засобів автоматичного складання є вузька орієнтація автоматів на виготовлення певного різновиду виробу, що робить їх ефективними тільки для великомасштабного випуску продукції. У розвинутих країнах такі виробництва в приладобудуванні становлять лише 20%, а інші працюють у режимі дрібносерійного або серійного виробництва. Складальні процеси на таких виробництвах мало автоматизовані, в них переважає ручне складання. Так, у приладобудуванні та радіоелектронній промисловості рівень механізації складальних процесів не перевищує 30-35%, а рівень автоматизації 10-15%.

Основний напрямок розвитку автоматизації складання в приладобудуванні ситуації, що складається, полягає в розробці універсального, швидко переналагоджуваного гнучкого устаткування із системами програмного керування та промисловими роботами. Механізація та автоматизація складання виробів не тільки підвищує продуктивність і поліпшує умови праці, а й значно підвищує

організацію всього виробничого процесу. Залежно від обсягу продукції, яка випускається, рекомендовано такі автоматичні складальні пристрої:

1. Спеціальні, вузького призначення складальні автомати для масового та великосерійного виробництва.

2. Спеціалізовані переналагоджувальні складальні автомати для великосерійного виробництва, уніфіковані під типові вироби і побудовані за агрегатно-модульним принципом. Переналагодження на випуск іншого виробу відбувається за рахунок деякої зміни структурної схеми, заміни робочих органів--захватів і зміни керуючої програми на нові координати.

3. Робототехнічні складальні комплекси для великосерійного виробництва, які мають певний рівень переналагодження на типові процеси, в яких складальні операції виконуються керуванням.

4. Робототехнічні складальні комплекси для великосерійного та серійного виробництва на основі складних, гнучких промислових роботів, які можуть виконувати кілька складальних операцій з автоматичною зміною інструментів, керованих системами числового програмного керування (СЧПК) - процесорами на основі мікро-ЕОМ з великою оперативною пам'яттю та швидко переналагоджуваною робочою керуючою програмою.

5. Роботизовані складальні комплекси для серійного та дрібносерійного виробництва з послідовним складанням кожної одиниці виробу одним промисловим роботом, який змінює за рухом ТП траєкторію маніпуляцій та застосовувані інструменти, керовані СЧПК.

6. Робототехнічні складальні комплекси для серійного та дрібносерійного виробництва промислової універсальності за переліком виконуваних робіт із застосуванням на окремих операціях не автоматичного, а автоматизованого чи навіть ручного керування промисловими роботами з СЧПК.

У серійному та дрібносерійному виробництві на робототехнічне складання покладено в основному найпростіші, багато разів повторювані складально-стикувальні, з'єднувальні-кріпильні, вальцювальні-пресувальні, електромонтажні, набивні та інші процеси, що не потребують налагоджувально-пригонювальних і юстирувальних робіт, складних з'єднань із великою кількістю елементів.

4.2.2. Приклади складальних автоматичних систем

Роботизовані технологічні складальні комплекси складаються з одного, двох або більше промислових роботів, розташованих навколо складального операційного місця з робочим столом, який має орієнтуючий пристрій для точного розміщення основної базової деталі вузла, що його складають, набір інструментів та іншої оснастки, певний запас складальних деталей. На виробництві зустрічається велика різноманітність компоновальних варіантів складальних автоматичних систем. З безлічі різноманітних автоматичних складальних процесів можна вирізнити два основних призначення промислових роботів-операторів: перше - це транспортні функції, коли промисловий робот служить для подавання складальних елементів на робочу позицію, і обслуговує певне технологічне устаткування, яке виконує процеси складення та кріплення.

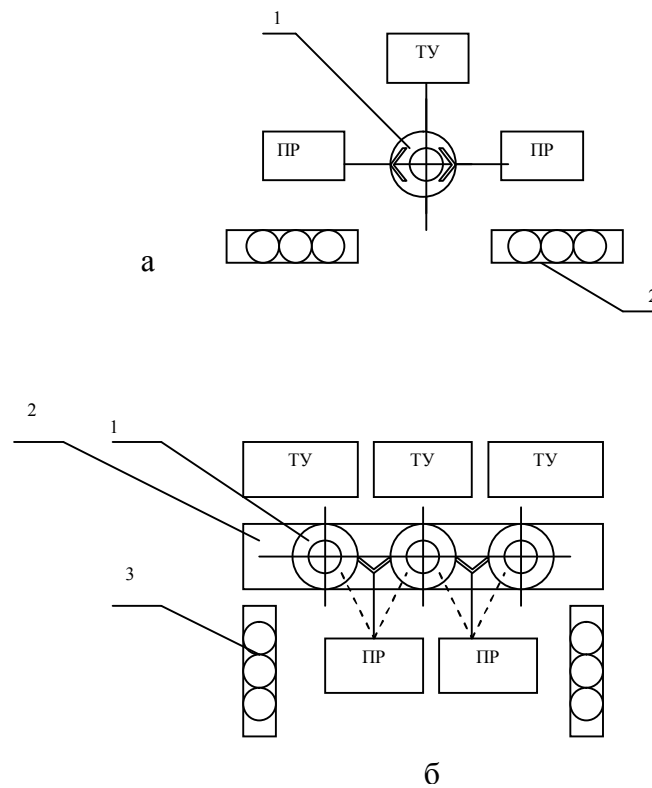


Рис. 4.1. Схеми компоновання автоматичних складальних комплексів:

а - з двома промисловими роботами-операторами;

б - у вигляді малої автоматичної лінії

Можливі компоновальні схеми таких автоматичних комплексів показано на рис. 4.1. На схемі рис. 4.1,а два промислових роботи (ПР) обслуговують певне технологічне устаткування (ТУ). Операція складання виробу виконується на поворотному складальному столі 1. Поряд з робочим місцем розміщено

нагромаджувачі 2 деталей, що складаються. Таке компонування РТК характерне для простих з'єднувальних, пресувальних, зварювальних, сортувальних та інших робіт. У цих випадках призначення робота – подати деталі на робочу позицію і зорієнтувати деталі за складальними базами. На рис. 4.1,б показано схему компонування складального комплексу у вигляді малої складальної автоматичної лінії, де два промислових роботи (ПР) обслуговують три одиниці складального технологічного устаткування (ТУ), подаючи деталі 3 до складальних місць 1 і своєчасно переміщуючи складальні елементи за складальними позиціями спільної технологічної лінії 2.

Друге призначення ПР - це крім транспортних, обслуговуючих робіт щодо подання складальних елементів на робочу позицію - складальні функції, коли сам ПР безпосередньо орієнтує деталі, стикує їх та складає деталі виробу. У цьому разі функціональні можливості роботів значно розширені, але складання зводиться до з'єднування деталей без подальших складальних зусиль, переважно із створенням рухомих з'єднань. На рис. 4.2. показано дві найпростіші схеми компонування таких складальних комплексів. На схемі рис. 4.2, а промисловий робот 2 послідовно комплектує складання деталями з різних нагромаджувачів 4 і на робочому столі 1 стикує складальну одиницю 3. Такі системи характерні для процесів набиття друкованих плат елементною базою, встановлення блоків кулачків або шестерень у корпус та ін.

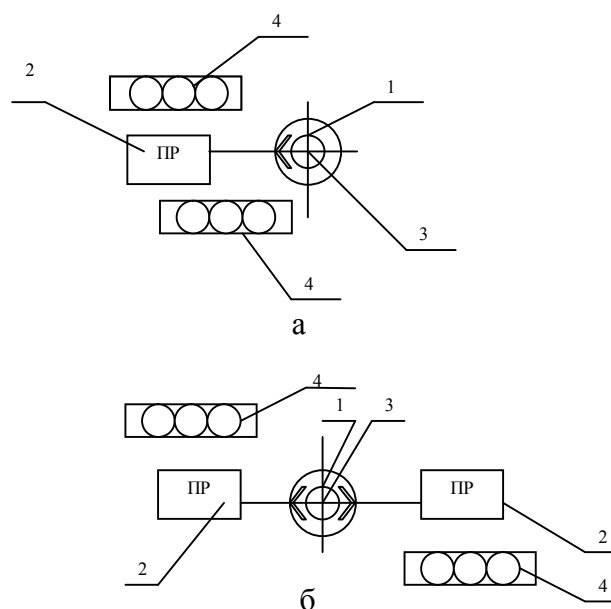


Рис. 4.2. Схеми компонування складальних комплексів:
а – з одним складальним роботом; б – з двома складальними роботами

Технологічно складнішими є складальні комплекси, в яких послідовно складають два або більше ПР. На рис. 4.2, б зображено схему такого комплексу, де два ПР складають продукцію 3 на одному робочому місці 1, У таких випадках найповніше виявляються похибки (неточності) взаємного орієнтування стикових деталей через похибки виготовлення складальних баз на деталях і неточність позиціювання елементів самих роботів. Сумарні похибки цих двох факторів часто роблять неможливим автоматичне складання без застосування спеціальних пошукових орієнтуючих процедур, які ПР виконує перед стикуванням деталей.

Для цього на механічну руку-захват одного з роботів-маніпуляторів, який має два-три ступеня волі переміщення, встановлюється проміжний чутливий елемент, який дає змогу під час стикування деталей виконати додаткові пошукові напрямлені переміщення захопленої деталі відносно базового отвору відповідної деталі, утримуваної іншим роботом. Як чутливий пошуково-пружний елемент застосовують різні механізми з пружинистими пристроями. Ними можуть бути хрестоподібні плоскі пружини-ресори з тензометричними силовими датчиками, які реагують на пружну малу деформацію кожної пружини, або інші аналогічні пристрої. Складальні роботи, які мають у своїй механічній руці такий пристрій, керуються програмою від СЧПК. Остання має кадри для виконання таких робіт: підведення деталі до базового елемента, пошуку необхідного положення, посадки поверхонь у потрібному положенні та остаточного встановлення деталей.

Схематично такі послідовні роботи показано на рис 4.3. На позиції I показано процес підведення встановлюваної деталі механічною рукою ПР до базового елемента виробу із встановлювальним отвором. Після контакту піднесеної деталі з базою переміщення припиняється і аналізується взаємне положення базових спряжуваних поверхонь. Максимальне значення можливої сумарної похибки зміщення поверхонь звичайно не перевищує 0,5..0,8 мм, а стикувальні поверхні мають розміри на один-два порядки більші. Це зумовлює прогинання одного боку деталі (позиція II), що уловлюється чутливими пружинами і показує напрям пошуку та потрібне переміщення. Скануванням імпульсів переміщення в знайденому напрямі виконується пошук установочної бази (позиція III). Коли її знайдено і потрібне положення встановлюваної деталі - наживлення деталей (позицій IV) за

рахунок забезпечення малих зворотно-поступальних імпульсів переміщення. Коли таке необхідне взаємне положення знайдено виконується остаточне встановлення поданої деталі в базовий отвір (позиція V) самим роботом.

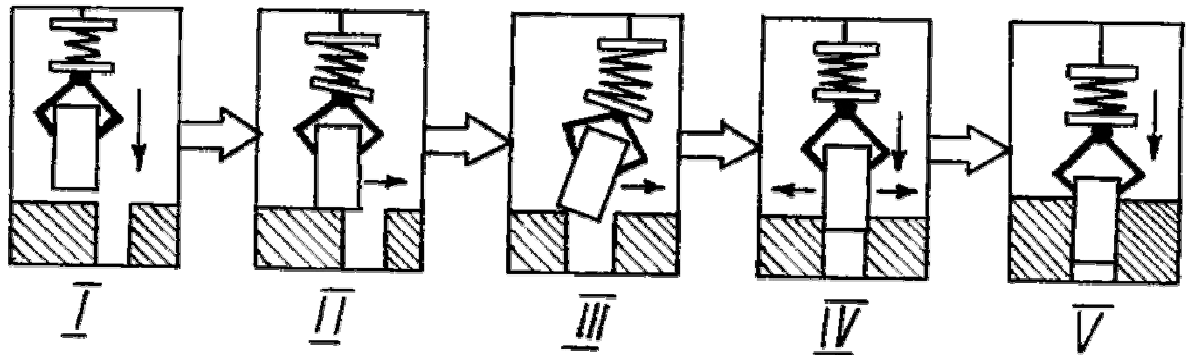
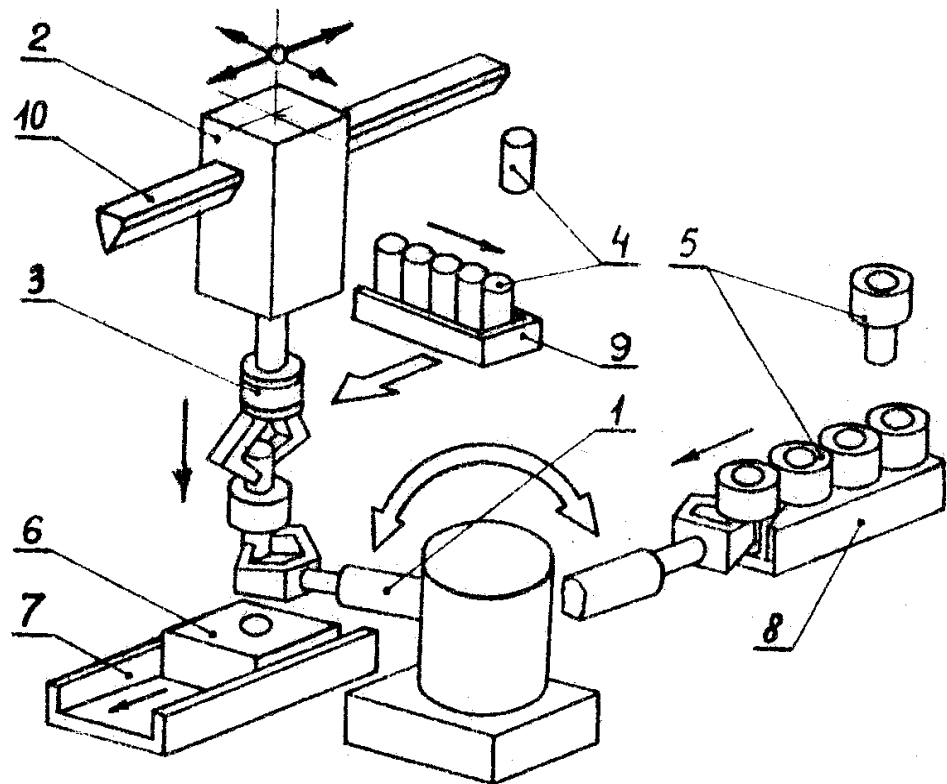


Рис. 4.3. Схематична послідовність роботи процесу пошуку необхідного положення деталей та їх складання



Р

Рис. 4.4. Схема автоматичного складального комплексу з двох ПР

Застосування таких пристроїв самоорієнтації дає змогу будувати складальні комплекси для складання більш як двох деталей. На рис. 4.4 показано схему автоматичного складального комплексу з двох промислових роботів 1 і 2, які виконують просте складання стикуванням трьох деталей: пальця 4, гнізда 5 та основи 6. Маніпулятор ПР 1 виконує лише транспортні функції. Він має два ступеня

волі, повертаючись, захоплює механічною рукою деталь 5 з подавального лотка 8 і подає її на складальну позицію. Процес складання виконує складальний робот 2, який має три ступеня волі і переміщується штангою 10. Захопивши деталь 4 з живильника-лотка 9, він підносить її до складального місця і за допомогою чутливого елемента 3 виконує автоматичне орієнтування її відносно деталі 5, виконуючи всі описані процедури орієнтації. Після складання деталей 4 і 5 робот 2 вставляє вузол у отвір основи 6, яка переміщується по конвеєру 7. При цьому знову повторюється процедура пошуку потрібного положення складаємих елементів.

4.3. Автоматизація проектування технологічних процесів

4.3.1. Поняття про машинне проектування ТП

Автоматизація інженерної праці сьогодні є надзвичайно важливою проблемою. Її успішне розв'язання сприяє значному підвищенню ефективності виробництва, інтенсифікації його підготовки та переналагоджування. Сучасні науково-технічні досягнення в галузі машино- та приладобудування різко ускладнили виробництво, що зумовило пошук нових шляхів і методів удосконалення його організації та керування, визначили створення нових засобів і методик підготовки виробництва на базі ЕОМ. Значний ефект при цьому досягається впровадженням автоматизованих систем проектування технологічних процесів (АСПТП). Такий метод розробки та написання ТП на ЕОМ часто називають машинним проектуванням ТП.

Машинне проектування ТП дає змогу різко скоротити час технологічної підготовки виробництва до запуску нових виробів; збільшити гнучкість і універсальність виробництва; підвищити якість розробки ТП; краще організувати та систематизувати виробництво; підготувати базу до широкого впровадження АСПТП; звільнити технологів від ручної рутинної праці.

В основі машинного проектування ТП лежать принципи проектування типових і групових ТП, які ґрунтуються на подібності описів технологічних операцій для виробництва різних виробів. Переважна більшість технологічних

складальних операцій щодо виконання основних складальних з'єднань, складання типових кінематичних і електронних вузлів, їх регулювання та контролю має добре відпрацьований, строго регламентований перелік послідовно виконуваних робіт, які описуються за переходами та заходами майже однаковим текстом до виготовлення різних приладів. Такі процеси мають подібні технологічні режими та оснастку, аналогічні технічні вимоги та умови виконання робіт незалежно від виду виробу, тобто явно видно технологічну збіжність опису процесів. Формалізувавши описову текстову частину таких операцій, їх звели до певних типових експертних розв'язків технологічних завдань, розробили на них уніфіковані алгоритми побудови або формування технологічних операцій і на цій основі виконують машинне проектування ТП.

На базі цієї формалізації процесів за їх складовими елементами багатьма організаціями було розроблено уніфіковані банки даних у вигляді машинного довідкового матеріалу, до якого увійшли повні переліки основних можливих варіантів технологічних переходів і робіт. Їх згруповано за методами складання та виконуваними роботами. Для одержання реального ТП для якогось конкретного виробу можна швидко викликати з пам'яті машини багатоваріантний розв'язок поставленого технологічного завдання у вигляді текстового опису елементів заходу, переходу операції і на їх основі, вибираючи найкращий варіант, послідовно формувати потрібний ТП.

До завдання технолога входить грамотний, експертний добір таких розв'язків на відео-терміналі машини та внесення до технологічної операції, що формується, відповідних уточнень виходячи із специфіки даного виробу та обмежень на даний процес.

Машинна розробка технологічних операцій, процесу складання може виконуватись або в автоматизованому діалоговому режимі „технолог –машина”, або повністю автоматично самою машиною. У першому випадку за викликом технолога машина видає на екрані відео-термінала варіанти розв'язку технологічного завдання, кілька шляхів виконання робіт залежно від конструктивних варіацій складальних одиниць і технологічних вимог до них. Технолог сам відбирає потрібні варіанти розв'язків і в потрібній послідовності формує переходи та операції. При цьому

технолог визначає форму та складність операцій та всього ТП в концентрованому або диференційованому вигляді. Водночас технолог зобов'язаний вводити в процес, який складає, необхідні уточнення та обмеження виходячи з конкретної схеми виробу.

У другому випадку типові технологічні процеси складання проектується на основі попередньо розробленої системи автоматичного проектування технологічних процесів (САПР ТП), яка є значним банком даних. До нього входить безліч різних програм і підпрограм за різновидами робіт, які несуть інформацію про різні варіанти складальних процесів, згрупованих за технологічним принципом подібності. Технолог, звертаючись до машини за допомогою відповідного вхідного коду, викликає на відео-термінал із пам'яті ЕОМ чергову підпрограму з даного різновиду виробу, вводить у спеціально попередньо залишені відповідні місця уточнюючі вхідні дані за характеристиками виробу, що його складають, уточнення щодо точності та необхідні обмеження з ТП, а також шифрує операції та виріб. Після такої підготовки машина сама роздруковує операції на технологічні карти, заносючи відповідний текст операції в необхідні місця згідно з ГОСТ 3.1407-74. Кількість копій визначає технолог.

З аналізу описаних методів випливає, що перший з них найбільш гнучкий і дає змогу проектувати різні за формою ТП, істотно змінювати необхідну послідовність робіт, гнучко керувати процесом проектування, тоді як другий метод, хоча й має вищу продуктивність, наперед обмежений самою системою САПР на певну структуру типового процесу. Він не такий гнучкий та універсальний і застосовується лише для обмеженого числа робіт. Щоб почати машинне проектування за описаними методиками крім відповідної підготовки потрібно мати такі засоби:

1. Технічне забезпечення, тобто розрахувати на певний мінімальний набір технічних засобів для виконання даної роботи: мікро – чи міні – ЕОМ, відео термінал з клавіатурою, блок зберігання та знімання інформації, принтер тощо.

2. Математичне забезпечення, куди входять математичні моделі технологічних процесів, які описують основні функціональні залежності всіх параметрів, які входять до них, що дає змогу вводити певні обмеження щодо точності, режимів

робіт, організації взаємодії елементів та ін.

3. Інформаційне забезпечення, тобто матеріалами, які мають повну інформацію про необхідне устаткування, оснастку, інструмент, режим роботи, перелік усіх потрібних процедур для якісного виконання проектного процесу. Сюди також належать керівні технічні матеріали підприємства, стандарти, ЄСТД та ін.

4. Програмне забезпечення, що має ряд пакетів прикладних програм роботи вибраних технічних засобів разом з ЕОМ.

5. Лінгвістичне забезпечення – певна алгоритмічна мова спілкування оператора, даних програм і ЕОМ, до якої входять процедурна та декларативна мови взаємного спілкування.

6. Алгоритмічне забезпечення, до якого входять необхідний набір алгоритмів дії та алгоритмічні системи аналізу та синтезу процесів.

7. Методичне забезпечення, яке описує послідовність виконання роботи в процесі машинного проектування та оптимізацію процесу.

Усі ці важливі розділи машинного проектування ТП на ЕОМ ґрунтуються на спеціальних великих за обсягом окремих курсах і потребують значної математичної та програмної підготовки, чому присвячено спеціальні дисципліни. У даному розділі розглянуто лише загальні початкові основи такого завдання.

4.3.2. Основи проектування ТП за допомогою ЕОМ

Незалежно від методу одержання технологічних процесів на ЕОМ будь-яка машинна розробка ТП передбачає декілька етапів, послідовність виконання яких схематично показано на рис. 4.5. На першому етапі виконується логічний аналіз одержаної інформації, яка уточнює напрямок проектування.

Спочатку аналізується конструкторська документація та технічні умови на виріб. При цьому визначається різновид виробу або його окремого вузла, клас і підклас з метою виявлення специфічних конструкторських ознак, а на їх базі – знаходження аналогів існуючих типових технологічних розв'язків. Для цього виконується структурний технологічний аналіз визначення потрібних складальних

процесів для складання даного виробу, їх специфіки та необхідних при цьому обмежень.

Другий етап підготовчий, до нього входять розробка методики проектування ТП під необхідні умови виробництва, тобто в концентрованому чи диференційованому варіанті, знаходження набору потрібних розв'язків із загального переліку готових раніше технологічних експертних розв'язків стосовно даного виробу. При цьому необхідно враховувати технічні умови та обмеження. Третій етап – синтез одержаних розв'язків, призначений для структурного формування потрібного майбутнього складального процесу. Він полягає у виборі необхідних технологічних робіт і послідовності їх виконання з урахуванням визначених раніше обмежень. На цьому етапі треба розробити потрібні алгоритми виконання кожної операції, ураховуючи її підготовку, виконання регулювання, контролю та інших необхідних процедур.

Четвертий кінцевий, етап передбачає безпосереднє програмування складального ТП на ЕОМ із застосуванням алгоритмічних і машинних мов і одержання пакетів прикладних програм і роздрукованого ТП за точністю тощо.

Описана методика машинного проектування технологічного процесу складання виробів дає змогу вже на початкових рівнях розробки виконати його структурну оптимізацію під конкретний виріб і конкретні умови виробництва, що робить такий метод дуже ефективним.

Розширений алгоритм виконання такого машинного проектування складального ТП схематично зображено на рис.4.6. Проектування базується на двох банках даних, куди закладається велика технологічна інформація у вигляді варіантів типових процесів як експертних розв'язків, згрупованих за певними методиками. Алгоритм має два рівні проектування ТП. На першому рівні (блоки 1-7) виконується маршрутно – операційне формування майбутнього технологічного процесу, а на нижньому другому рівні (блоки 8-12) послідовно розроблюється кожна операція з формуванням технологічних переходів, вибором відповідного устаткування, оснастки, матеріалів, інструмента, проробленням системи контролю.

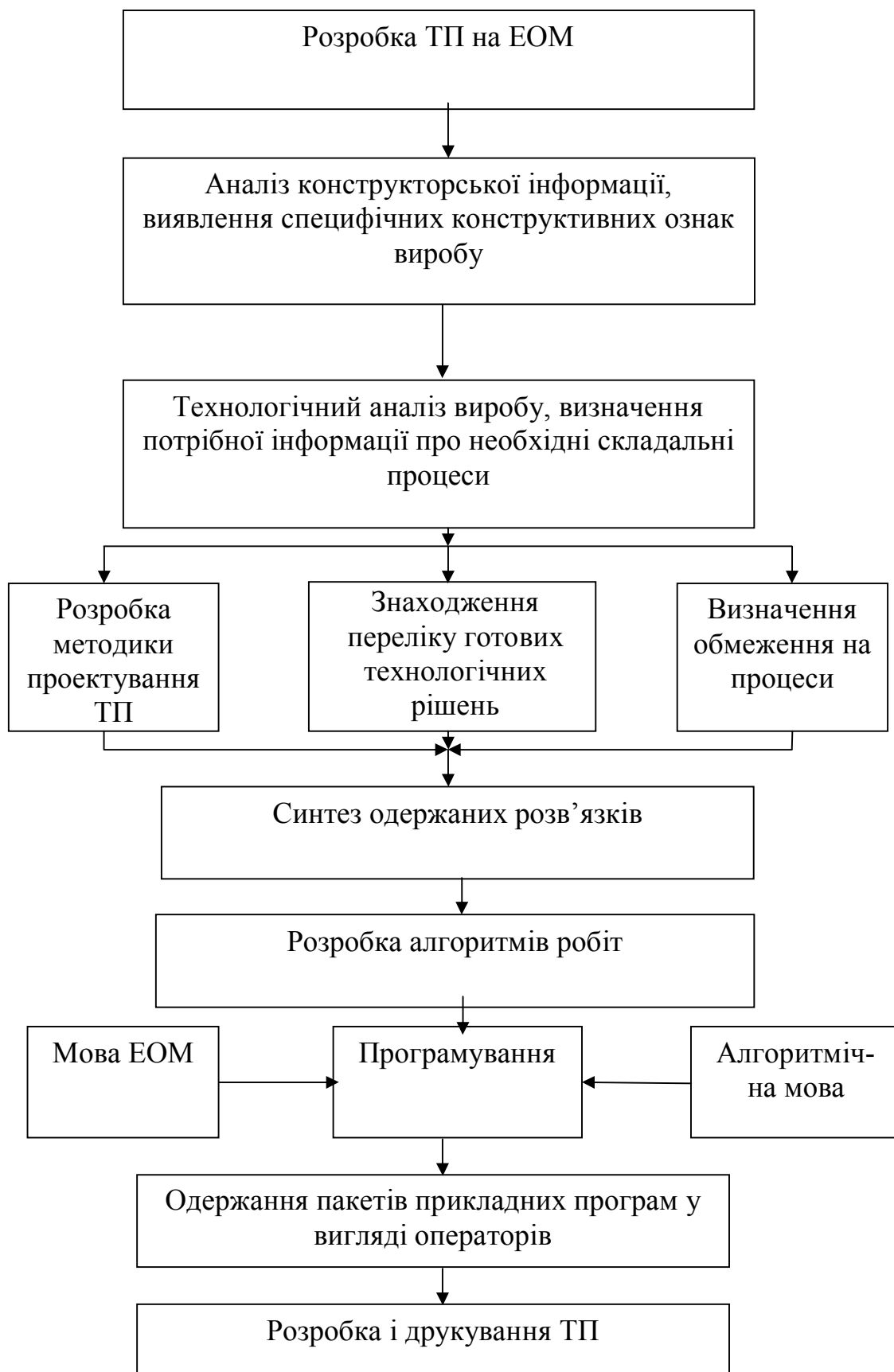


Рис 4.5 Структурна схема послідовних робіт у процесі розробки ТП за допомогою ЕОМ

Перший банк даних сформульовано за принципом конструкторської класифікації виробів, зокрема певних груп приладів (електровимірювальних, оптичних, барометричних тощо). Технологічна інформація, яка міститься в цьому

банку даних, згрупована за конструкторськими ознаками виробу, як, наприклад, вузол рамкового гальванопідвісу, редуктор, поворотний важільний пристрій, шарикові чи цапфові опори, друкований монтаж, барометричний мембранний вузол та ін. Для кожного такого типового пристрою в банку є свої переліки типових технологічних операцій у різноманітних варіантах, які враховують можливі специфічні варіації конструкції елементів виробу. Такі переліки операцій подаються у вигляді розшифрованих технологічних процесів, робіт тощо.

Другий банк даних нижчого рівня проектування містить повну інформацію про операційні переходи і є основою формування послідовності виконання кожної операції, яка міститься в першому банку даних. Це також експертні розв'язки у вигляді набору варіантів переходів, які відрізняються за методами складання щодо точності. Інформація в цьому банку групується за технологічними ознаками, тобто за належністю операцій до слюсарно – складальних робіт, згвинчування, паяння, зварювання, регулювання, юстирування вузлів тощо. При цьому необхідно орієнтувати технологічну інформацію, яку закладають у банк, за обмеженнями щодо точності, серійності випуску тощо.

Вхідними даними для такого методу машинного проектування ТП є робочі креслення вузлів виробу, технічні умови на них і ряд керівних технічних матеріалів (блок 1 рис.4.6.).

Блоки 2 і 3 алгоритму (рис.4.6) передбачають виконання структурного конструктивного та технологічного аналізу для визначення необхідного набору технологічних операцій, набору даних, які містяться в першому банку, необхідних операторів. Блок 4 – виведення на екран відео – термінала різних варіантів переліків типових для даного вузла операцій, з яких технолог вибирає для проектування ТП необхідні роботи (блок 5).

Алгоритм має систему самоорганізації. Так, на блоці 6 перевіряється придатність відібраних розв'язків, коли технолог може проаналізувати відібраний перелік складальних процесів, послідовно перевіряючи його відповідно до креслень виробу. У разі виявлення розбіжностей алгоритм передбачає повернення до відбирання нових, зручніших розв'язків, звертаючись до блоку 5 або 4. Завершується маршрутне операційне проектування формуванням маршруту

складального процесу (блок 7).

Далі проектується ТП нижнього рівня. Згідно з одержаним переліком операцій з другого блоку даних до кожної операції виводиться на відео-термінал перелік варіантів технологічних переходів (блок 8) і технолог відбирає ті, які найбільш підходять серед них для даної конструкції виробу (блок 9). Перевіряючи відібрані розв'язки за кожною операцією (блок 10 системи самоорганізації), технолог послідовно та детально формує технологічний складальний процес з проробленням операцій за переходами, вибором оснастки, інструмента та устаткування (блок 11).

Потім виконується загальне коректування спроектованого процесу складання (блок 12) з проставлянням порядкових номерів деталей, потрібних розмірів, точності тощо.

Коли всі зауваження враховані, роздруковується спроектований ТП (блок 13). Відзначимо, що кожний блок розширеного алгоритму має власний розшифрований в прості заходи алгоритм з докладною проробкою кожної процедури проектування.

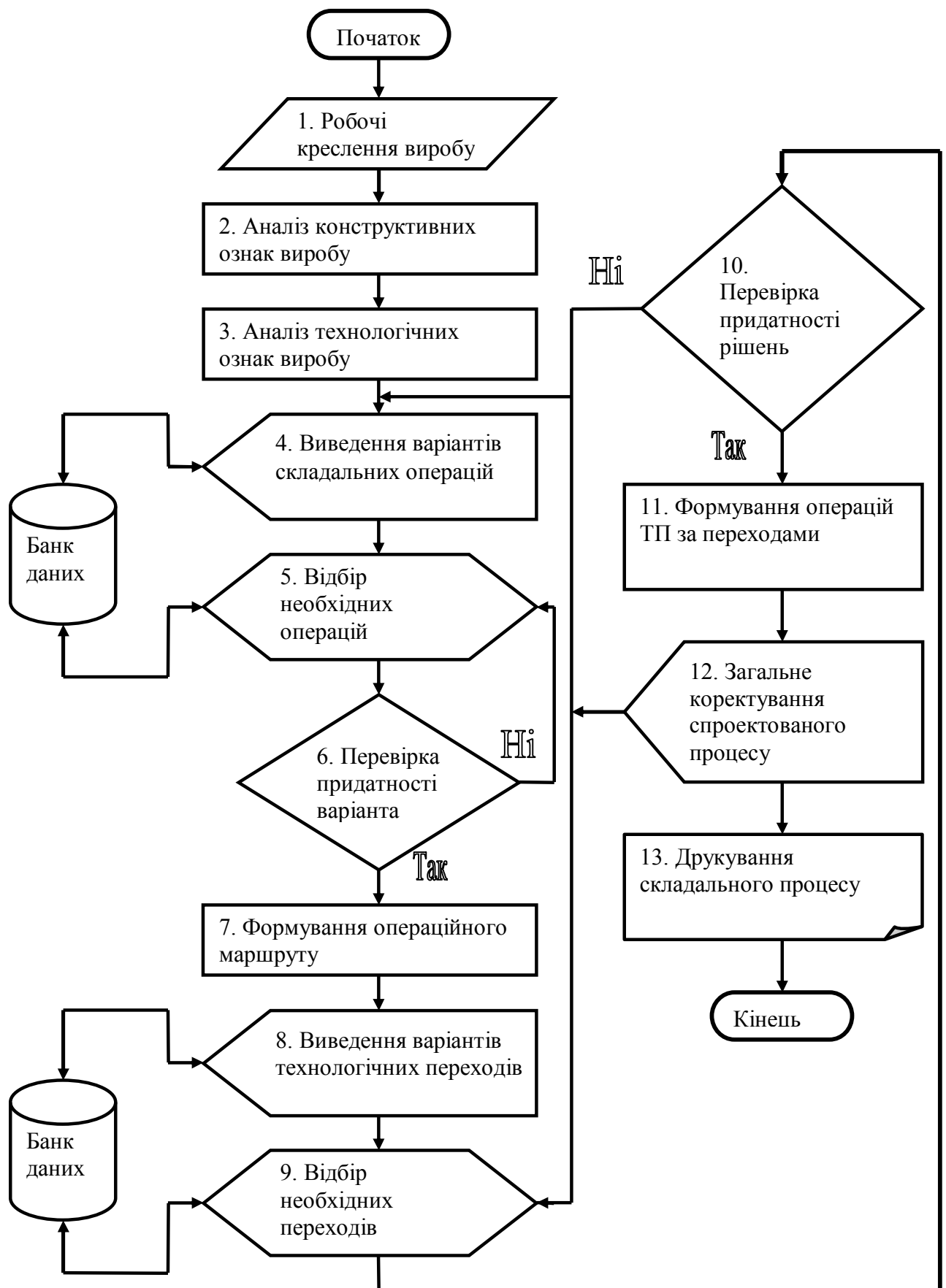


Рис 4.6. Розширений алгоритм виконання машинного проектування ТП складання

Розділ II. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ СКЛАДАННЯ ПРИЛАДІВ

Глава 5. ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ РІЗНИХ З'ЄДНАНЬ

5.1. Технологія складання та регулювання рухомих з'єднань

Рухомими з'єднаннями називаються такі складальні одиниці, в яких під час роботи приладу відбувається взаємне переміщення елементів з певною швидкістю на задану величину. Такі з'єднання найчастіше зустрічаються в кінематичних ланцюгах приладу і характерні для механічних елементів конструкцій. Переміщення елементів може відбуватися ковзанням однієї поверхні по іншій, як вала у втулці, штоку в пневмо – або гідро циліндрі, опорних площин деталей у різного роду напрямних, поверхні кулачка по штовхачу, ковзанням гайки по гвинту або навпаки, зубів у зубчастих передачах або котінням як у шарикових опорах і гвинтах. Основна особливість таких з'єднань – наявність рухомого контакту в зоні стикання і, як наслідок цього, виникнення протидіючих сил тертя і спрацювання в точках контакту поверхонь.

Основні вимоги до рухомих з'єднань :

1. Висока геометрична точність стичних поверхонь, де відхилення їх форми має не перевищувати 2..3 мкм.
2. Хороша чистота поверхонь контакту, коли шорсткість робочих поверхонь має бути в межах $R_a = 0,5...1,25$ мкм. Грубіша шорсткість збільшує тертя та спрацювання, а за ще чистішої поверхні можливий розрив у масляній плівці мастила та сухе тертя.
3. Висока стійкість проти спрацювання поверхонь.
4. Хороші умови змащування.
5. Як найменші зазори в з'єднанні в межах 2....4 мкм для точного взаємного переміщення та орієнтації елементів вузла.

6. Малий коефіцієнт тертя в точках контакту та його стійкість на всьому діапазоні переміщення, що звичайно називається плавністю ходу спряжуваної пари.

Процес створення рухомих з'єднань під час складання полягає в певній взаємній орієнтації стикових деталей, з'єднанні (установленні, одяганні, накладанні, нагвинчуванні тощо), регулюванні та перевірці правильності складання. Ступінь складності та трудомісткості таких робіт визначається потрібною точністю та методом її забезпечення.

У разі застосування методів повної або групової взаємозамінності, коли вимоги до точності складання невисокі, складальні процеси не викликають труднощів і зводяться до таких послідовних робіт : промивання та очищення поверхонь; перевірка їх на точність і відсутність пошкоджень (вхідний контроль); попереднє складання, стикування; перевірка правильності спряження та контакту; перевірки зазорів і люфтів; контроль плавності взаємного переміщення на всьому робочому діапазоні; розбирання з'єднання; змащування поверхонь потрібною маркою мастила та остаточне складання вузла.

За вимог високої точності з'єднань застосовують методи складання з регулюванням параметрів зазорів або пригонкою, доробкою “на місці”, які мають високу трудомісткість або потребують високої кваліфікації складальників. За методом регулювання спряжувані елементи складають попередньо, потім визначають величину необхідного регулювання щупами або підбирають потрібну товщину прокладок, а після перевірки, перебирання вузла та змащування поверхонь остаточно встановлюють потрібну свободу переміщення із забезпеченням надійності конструювання.

Найбільш трудомістким процесом є метод забезпечення потрібної свободи переміщення пригонкою або доробкою безпосередньо в процесі складання. При цьому застосовуються слюсарно – приганяльні, доводочні роботи, припилювання поверхонь терпугами, надфілями чи абразивною шкуркою, їх шабрування шаберами, полірування та притирання абразивними та хімічними пастами тощо. Іноді виконуються операції сумісного свердлування деталей, розгортання отворів або нарізування нарізки тощо. Під час виконання цих доводочних робіт виконується багаторазове попереднє перебіркове складання з контролем одержаних

характеристик, а після ретельного промивання та змащування – остаточне складання. При цьому остаточно перевіряються необхідні параметри.

Рухомі нарізні з'єднання або зубчасті передачі звичайно попередньо припрацьовуються на спеціальних обкатних стендах до одержання потрібного обертового моменту їх переміщення.

Після складання рухомі з'єднання перевіряються на величину вільного ходу (зазору) за допомогою мікрометричної головки, на споживану потужність або обертовий момент грамометрами, на осьове або радіальне биття, на плавність ходу по всій довжині зміщення. Плавність ходу перевіряється за допомогою спеціальних пристроїв, які дають змогу фіксувати коливання використовуваного зусилля переміщення за допомогою динамометрів або грамометрів, або зміну швидкості переміщення за допомогою стробоскопів, фотодатчиків, п'єзоакселерометрів та ін.

5.2. Технологія одержання нерухомих рознімних з'єднань

Нерухомі з'єднання застосовують для одержання цілісної, постійної за формою конструкції без зміщення елементів під час роботи приладу. Такі з'єднання бувають рознімні та не рознімні. Рознімні складальні з'єднання характеризуються багаторазовістю розбирання за необхідності.

Основні вимоги до таких з'єднань:

1. Достатня міцність з'єднання.
2. Забезпечення необхідної жорсткості конструкції за змінних навантажень.
3. Забезпечення потрібної точності з'єднання та певної взаємодії орієнтації елементів.
4. Забезпечення надійності кріплення з'єднання, що виключає саморозкріплення в процесі експлуатації.
5. Зручність проведення складання та розбирання вузла.

Нерухомі рознімні з'єднання одержують в основному за допомогою нарізних або гвинтових елементів, які називаються на виробництві кріпленням. Такі з'єднання є найпоширенішою складальною операцією в приладобудуванні, що пояснюється такими їх перевагами:

- простотою виконання робіт і застосовуваного інструмента;
- можливістю одержання таким методом кріплень дуже складних, жорстких і міцних конструкцій із простих за формою елементів;
- можливістю багаторазового перебирання з'єднання, регулювання точності встановлення взаємного положення деталей, герметичності з'єднання, а також надійного з'єднання різнорідних матеріалів у будь-яких комбінаціях.

Для одержання таких з'єднань застосовуються різні кріплення: гвинти, болти, шпильки та гайки різних конструкцій, звичайно стандартні. У деяких випадках нарізка виконується безпосередньо на елементах конструкції, що зменшує кількість деталей. Часто під головки гвинтів або гайки підкладають шайби різної конфігурації. У приладобудуванні для кріплення застосовуються в основному метричні нарізки невеликих розмірів за 5-м або 6-м ступенем точності за ГОСТ 16093-80 із звичайних мало вуглецевих сталей. Для відповідальних з'єднань кріплення виконують із сталі 45 або 50 (ГОСТ 1050-88).

Технологічна операція одержання гвинтового з'єднання складається з таких заходів: вибір необхідного набору кріплення, встановлення на гвинт або шпильку шайби (коли цього вимагає конструкція), орієнтування кріплення відносно спільної осі, наживлення нарізки на одну-дві нарізні нитки (звичайно вручну), загвинчування на всю довжину нарізки, і нарешті, остаточне затягання з'єднання.

Процес затягання нарізки дуже відповідальний у загальній сукупності робіт, тобто визначає міцність стику, надійність з'єднання від саморозкріплення, деформації або зміщення елементів і полягає в додатковому силовому загвинчуванні кріплення на певний кут для створення в місці стику певного напруження за рахунок пружних деформацій. Кут додаткового повороту при затягуванні елемента беруть у межах 180...360° для з'єднань без шайби і 1,5...2 оберти, якщо шайба є.

Дуже важливо знати необхідну силу затягування кріплення, що дає змогу забезпечити надійніше з'єднання. Таку потрібну силу затягування Q визначають із схеми навантаження елементів. У разі сили P , яка зрушує стик (рис. 5.1,а),

$$Q = \frac{K_D \cdot P}{f \cdot n}. \quad (5.1)$$

При навантаженні стику відривною силою (рис. 5.1,б)

$$Q = \frac{K_D \cdot P}{n}, \quad (5.2)$$

де K_D – коефіцієнт запасу за динамікою навантаження (за статичних навантажень $K_D = 1,2$, а за динамічних $K_D = 2,0$); f – коефіцієнт тертя в стикі; n – кількість стиків (кількість кріплення).

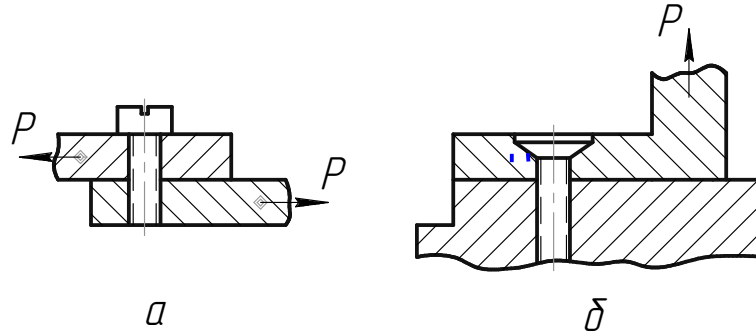


Рис. 5.1. Схеми навантаження елементів:

а – у разі сили, яка зміщує стик;

б – при навантаженні стиків відривною силою

Щоб забезпечити таке затягування, треба прикласти до інструмента певний обертовий момент, який можна визначити аналітично за виразом

$$M_{кр} = Q \cdot \left[0,5 \cdot d \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho) + f_T \cdot \frac{D^3 - d_0^3}{3(D^2 - d_0^2)} \right], \quad (5.3)$$

де d – діаметр нарізки, мм; α – кут підймання нарізки (для основної метричної нарізки $\alpha = 7^\circ 30'$); ρ – кут тертя в нарізці, $\rho = 10^\circ$; f_T – коефіцієнт тертя на торці головки гвинта, болта або гайки; D – діаметр опорної поверхні стиків, який визначається орієнтовно розміром до найближчого краю стикових поверхонь (але $D \leq 10 \cdot d$) від осі кріпильного отвору розміром, який приймається величиною $d_0 = (d + 0,5)$ мм.

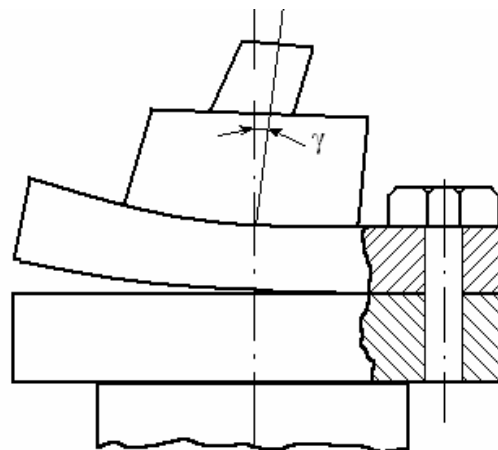


Рис. 5.2. Схема деформації та перекосу стиків за неправильної послідовності операцій затягування гвинтів

Щоб уникнути деформації гвинта, зминання його нарізки або розриву в місці переходу головки в стержень, одержаний обертовий момент перевіряють на допустимий граничний момент M_{GP} , який визначається так:

$$M_{GP} \approx 0,6 \cdot \sigma_T \cdot d^3 \cdot (0,03 + k_G \cdot f_T), \quad (5.4)$$

де σ_T – межа міцності матеріалу гвинта на розрив; k_G – коефіцієнт розрахунку геометрії головки гвинта (у разі циліндричної головки через підвищену концентрацію напруження в місці її переходу в стержень $k_G = 1,2$, у разі конічної головки $k_G = 1,6$, а за наявності гайки $k_G = 1,8$).

Потрібно, щоб виконувалась умова $M_{KP} < M_{GP}$.

Особливу увагу слід приділяти послідовності затягування ряду гвинтів у процесі складання з'єднання. Неправильний порядок їх затягування призведе до деформації стику, перекосу з'єднаних деталей на кут γ (рис 5.2.) через відсутність стримуючої сили на другому кінці з'єднання. Тому необхідно обов'язково дотримуватися строгої послідовності при виборі послідовності роботи над кріпленням: закручувати, а потім затягувати треба послідовно протилежні гвинти або гайки. На рис. 5.3 цифрами позначено послідовність кріплення гвинтів на фланцях квадратному (рис. 5.3,а) і круглому (рис. 5.3,б).

За наявності ряду гвинтів, розміщених на одній прямій (рис. 5.4), їх закручування, а потім затягування виконують починаючи з середнього кріпильного елемента, поступово переміщуючись по чергово ліворуч і праворуч до країв стику з'єднання.

Для проведення операції кріплення нарізними елементами застосовують різний слюсарно-складальний інструмент: ручні викрутки та ключі чи механічні гвинтоверти, гайковерти тощо з приводом обертання від двигуна. Такі пристрої часто оснащуються спеціальними захватами кріплення та силовими обмежувачами – спеціальними торйованими пристроями граничного обмеження створюваного обертового моменту, які можна налагоджувати на необхідний за виразом (5.3) обертовий момент $M_{кр}$.

Щоб запобігти саморозкручування різьбових з'єднань під час роботи приладу, в конструкціях часто застосовуються спеціальні контруючі елементи або матеріали.

Найбільшого поширення набули спеціальні розрізні пружини шайби Гравера (рис. 5.5,а) з гострими розведеними краями, шайби з фігурним внутрішнім отвором (рис. 5.5, б), шайби із стопорними клинами, що відгинаються, і т.п. Шайби Гровера або з фігурними отворами за рахунок пружних місцевих деформацій поверхонь стику головки гвинта й деталі утримують кріплення від саморозкручування. Іноді застосовують корончаті гайки, гайки з гумовими ущільнювачами тощо. Найпростіший метод контрування нарізних елементів полягає в покритті нітролаком місць установлення кріплення. Відповідальні з'єднання, які працюють за великих знакозмінних навантажень, контруються дротом, протягнутим крізь отвори в головках гвинтів або болтів, які стягуються в єдину замкнену систему.

Під час проведення операції її кріплення з'єднання всі поверхні мають бути ретельно промиті та змащені технічним вазеліном.

Приклад. Визначити Необхідний для налагоджування гвинтоверту з обмежувачем за зусиллям обертотворний момент для затягування шести гвинтів при кріпленні двох частин корпусу приладу за допомогою круглих фланців (див. рис. 5.3, б) із алюмінію, коли сила навантаження $P = 350$ Н діє на розрив (вигин) у динамічному режимі. Гвинти з циліндричною головкою розміром М4 ($\alpha=7^\circ30'$, $\rho=10^\circ$) виготовлені із сталі ($\sigma_T = 250$ МПа). Конструктивно вибираються такі розміри: $D = 30$ мм; $d_o = 4,5$ мм; коефіцієнт тертя $f_t = 0,2$ (сталь по алюмінію); коефіцієнти $K_D = 2,0$; $K_T = 1,2$.

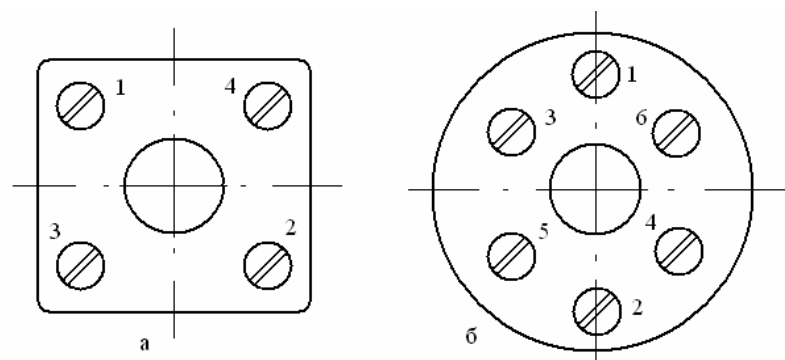


Рис. 5.3.Схеми послідовності кріплення гвинтів на фланцях:

а-квадратному; б-круглому

За (5.2.) потрібна сила затягування

$$Q = K_D P/n = 2 \cdot 350/6 = 116.7 \text{ Н.}$$

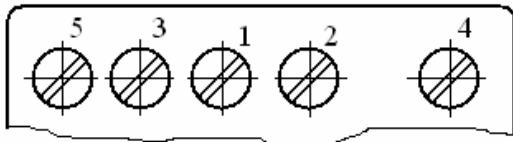


Рис.5.4. Схеми послідовності кріплення гвинтів розміщених на одній прямій

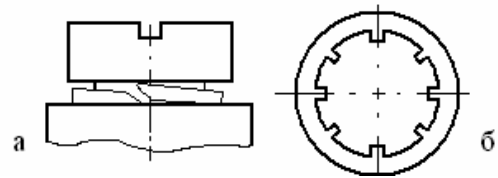


Рис.5.5. Схеми контруючих елементів нарізних з'єднань:
а-шайба Гравера;
б-шайба з фігурним отвором

За (5.3) потрібний обертовий момент:

$$M_{кр} = 116,7[0,5 \cdot 4(0,3151) + 0,2(30^3 + 4,5^3)/3(30^2 - 4,5^2)] = 311,6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Щоб перевірити міцність з'єднання за (5.4.) знаходимо

$$M_{сп} = 0,6 \cdot 250 \cdot 4^3 (0,03 + 1,2 \cdot 0,2) = 2592 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Оскільки є великий запас міцності, шуканий момент затягування після закруглення вважаємо таким, що дорівнює 320 або 350 Н·мм

5.3 Технологія одержання нероз'ємних з'єднань

У процесі виготовлення майже всіх приладів широко застосовуються не рознімні з'єднання елементів. Не рознімними називаються такі з'єднання, які в процесі складання дають змогу одержати цілісну конструкцію, яка не підлягає подальшому розбиранню. Технологічні процеси одержання таких з'єднань на виробництві значно складніші та різноманітніші, ніж з'єднань, описаних раніше. Основні методи одержання нероз'ємних з'єднань у приладобудуванні: пересування, зварювання, паяння, склеювання, розклепування, розвальцьовування, обтискання; обкручування тощо. Розглянемо їх.

5.3.1 Пресування

Пресування - це одержання не роз'ємного з'єднання за рахунок пружного деформування контактуючих поверхонь, коли отвір виготовлено меншим за розміром, ніж деталь, яку вставляють усередину. Такі з'єднання

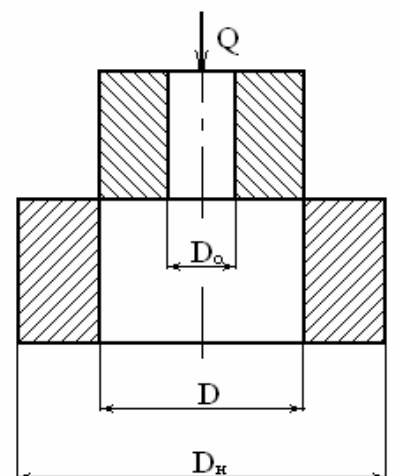


Рис.5.6. Схема одержання пресованого з'єднання

називаються також складанням із натягом і утворюються за рахунок застосування в процесі виготовлення елементів різних щільних і пресових посадок. застосовуються такі з'єднання для міцного встановлення штифтів, втулок, фланців, ободів, гільз, фіксаторів, стопорних кілець та ін., виконаних переважно з металів. Схему одержання пресованого з'єднання показано на рис. 5.6.

Основні вимоги з'єднуваних деталей:

1. Висока точність виготовлення стикових поверхонь. У приладобудуванні для цього застосовуються 5-, 6- і рідше 7-й квалітети точності. При цьому отвори звичайно виготовляють за посадками H5, H6 та *Is* 5, а деталі, які в них вставляють (вали), - за посадками *js*5, K5, K6, *n*6 і *r*7 та ін.

2. Хороша чистота спряжуваних поверхонь, які мають бути виготовлені за $\sqrt{Ra0.4}$ шорсткості (ГОСТ 2789-80).

У приладобудуванні операція пресування звичайно виконується на ручних важільних або гвинтових пресах. У великомасштабних виробництвах застосовуються механічні кривошипні або пневматичні преси. Перед складанням контактні поверхні ретельно промиваються та зачищаються, контролюються на відсутність пошкоджень і ерозії, ретельно змащуються технічним вазеліном або спеціальними мастилами. При проведенні пресування деталі мають бути строго зорієнтовані за віссю для уникнення перекосів і заклинювання. Для цього звичайно застосовуються різні напрямні пристрої та пристосування. Схему одного з таких пристроїв при встановленні втулок у плати показано на рис. 5.7. У стандартну підставку 6 з пружинним виштовхувачем вставляються змінні втулки 5 і напрямний фіксатор 4, виготовлений за розміром отвору пресування в деталі 2. Згори на установочний палець фіксатора одягається втулка 1, яка пресується. Потрібно також забезпечити строго перпендикулярність поверхні повзуна до преса 3 осі поверхонь, які пресуються, щоб не було перекосу деталей і задирання поверхні. На рис. 5.8. показано схему аналогічного пристрою для пресування фланців на осі шестерень або інших деталей. Фланець 1 одягається на змінний фіксатор 4, а деталь 2, яка в нього впресовується, з віссю кріпиться на захваті 3 повзуна преса. При проведенні операції отвори у фіксаторі строго орієнтуються відносно осі.

Потрібне зусилля пресування визначається з умови геометричних

характеристик з'єднання:

$$Q = \pi D L f P, \quad (5.5)$$

де D, L - діаметр і довжина елементів які пресуються, у зоні контакту; f - коефіцієнт тертя між поверхнями; P - питомий тиск пружного стиску на поверхні спряження, МПа;

$$P = \frac{\Delta \cdot 10^{-3}}{D} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)^{-1}, \quad (5.6)$$

де Δ - справжній натяг у спрязуваній парі, мкм,

$$\Delta = \Delta_{max} - 0.7(Rz_1 + Rz_2);$$

де Δ_{max} - максимальний натяг у з'єднанні згідно з прийнятою посадкою мкм; Rz_1, Rz_2 - максимально можливі шорсткості поверхонь; C_1, C_2 - коефіцієнти шорсткості деталей.

$$C_1 = \frac{D^2 + D_0^2}{D^2 - D_0^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{D_H^2 + D^2}{D_H^2 - D^2} + \mu_2; \quad (5.7)$$

де D_0 - внутрішній діаметр деталі, яка вставляється (див. рис. 5.6.); μ_1, μ_2 - коефіцієнти Пуассона; D_H - зовнішній розмір верхньої деталі; E_1, E_2 - модулі пружності спрязуваних деталей.

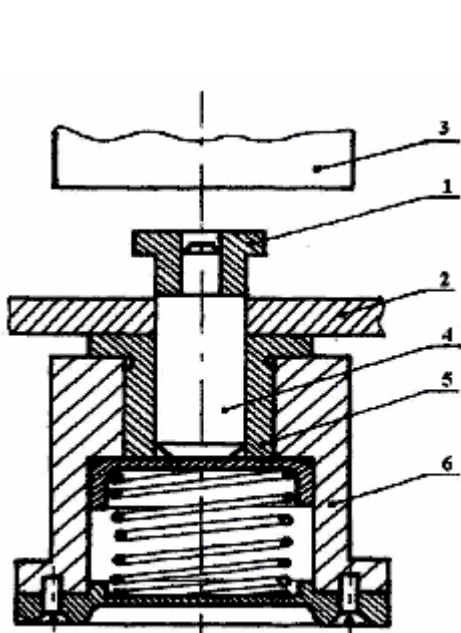


Рис.5.7. Схема пристрою для пресування втулок у платі

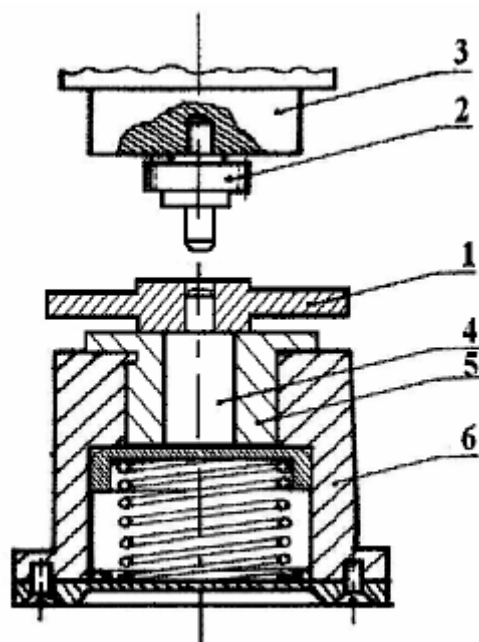


Рис.5.8. Схема пристрою при встановленні фланців на осі

У приладобудуванні через, малу жорсткість деталей часто вдаються до контролю точності спряження пресування за рахунок вимірювання зусилля, яке для

цього прикладають.

Приклад. Визначити максимальну та мінімальну можливі межі зусилля пресування для контролю з'єднання латунної втулки, яка впресовується в заготовку сталеної шестерні, із сталі 40Х за граничних натягів допуску на посадку: верхня межа $\Delta_B=20$ мкм, нижня межа $\Delta_H=12$ мкм.

Характеристики деталей: втулка 1 - $D=5$ мм; $D_o=3$ мм; $L_1=4$ мм; $Rz_1=4$ мкм; $E_1=1\cdot10^5$ МПа; $\mu_1=0,4$; шестерня 2 - $D=5$ мм; $D_H=12$ мм; $L_2=4$ мм; $Rz_2=6$ мкм; $E_2=2\cdot10^5$ МПа; $\mu_2=0,28$.

Коефіцієнт тертя латуні по сталі $f=0,16$.

Коефіцієнти жорсткості за (5.7)

$$C_1 = \frac{5^2 + 3^2}{5^2 - 3^2} + 0.4 = 1.73;$$

$$C = \frac{12^2 + 5^2}{12^2 - 5^2} + 0.28 = 1.70$$

Можливі граничні натяги

$$\Delta_{\max} = 20 - 0.7(4 + 6) = 13 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\min} = 12 - 0.7(4 + 6) = 5 \text{ мкм};$$

Можливі питомі тиски за (3.6)

$$P_{\max} = \frac{13 \cdot 10^{-3}}{5 \left(\frac{1.73}{1 \cdot 10^5} + \frac{1.70}{2 \cdot 10^5} \right)} = \frac{13 \cdot 10^5}{5 \cdot 10^3 \cdot 2.58} = 100.8 \text{ МПа}$$

$$P_{\min} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{5 \left(\frac{1.73}{1 \cdot 10^5} + \frac{1.70}{2 \cdot 10^5} \right)} = \frac{5 \cdot 10^5}{5 \cdot 10^3 \cdot 2.58} = 38.8 \text{ МПа}$$

Гранично можливі зусилля пересування за (5.5)

$$Q_{\max} = 3.14 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 0.16 \cdot 108.8 = 1093.2 \text{ Н};$$

$$Q_{\min} = 3.14 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 0.16 \cdot 38.8 = 389.5 \text{ Н}.$$

Беручи до уваги можливі похибки виробництва, межі допустимих зусиль, вище чи нижче яких в разі проведення операції пресування утворюються непридатні з'єднання, беремо $Q_{\max} = 1100$ Н; $Q_{\min} = 380$ Н.

Щоб запобігти сильним пошкодженням пресованих поверхонь деталей в машинобудуванні через їх значну довжину зараз виконують термічне пресування. При цьому або охолоджують до температури $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ деталь, яку вставляють усередину, за допомогою двооксиду вуглецю, або нагрівають зовнішню деталь до $+100 \dots 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ у термостаті. Це дає змогу значно зменшити натяг у момент пресування, поліпшити якість з'єднання.

5.3.2. Зварювання в приладобудуванні

Щоб одержати міцну суцільну конструкцію з простих елементів за рахунок утворення не рознімних з'єднань із металічних деталей широко застосовують зварювання. Процес з'єднання зварюванням ґрунтується або на розплавленні та спільній кристалізації стиків з'єднуваних тіл, або на електронно-дифузійній взаємодії поверхонь стиків. У промисловості застосовують значну кількість різновидів зварювання для з'єднання як металевих деталей, так, і ряду твердих неметалів. У приладобудуванні широко застосовуються електроконтактні, дугові та ряд спеціальних видів зварювання.

Електроконтактні зварювання застосовують для з'єднання металевих деталей за рахунок виділення теплоти в певних зонах підвищеного опору в разі пропускання електричного струму. Серед таких зварювань в основному застосовують:

1.Електроконтактне точкове (рис. 5. 9,а) для зварювання листових елементів внапуск у певних точках. Воно виконується на спеціальних зварювальних машинах – напівавтоматах з гідроприводом, які класифікують за потужністю струму. Зварювальні деталі 2 стикаються зусиллям P між двома електродами 1, через які пропускають струм. У результаті підвищеного опору в зоні стику виділяється теплота, яка розплавляє в цій точці поверхневі шари металу.

Величина такої зварної точки регулюється силою струму I . Основні характеристики такого зварювання – сила струму та стиснений тиск – вибираються залежно від товщини та марки металу, його електрофізичних властивостей. Зварювання відзначається великою продуктивністю, але не утворює герметичного з'єднання і в місцях зварювання утворюються підвищені внутрішні напруження.

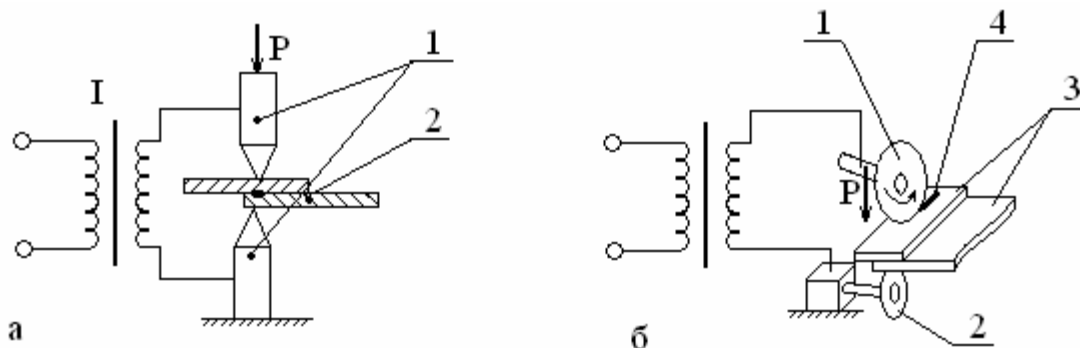


Рис.5.9. Схеми електроконтактного зварювання:
а-точкове зварювання в напуск;
б-роликове шовне зварювання

2. Шовне роликове зварювання (рис. 5.9,б), яке ґрунтується на тому самому ефекті тепловиділення. Листи матеріалу 3, покладені внапуск, прокатуються між притискним роликом 1 (верхнім електродом) і нижнім роликом - електродом 2, який забезпечує певну швидкість прокатування. У міру переміщення матеріалу через електроди пропускають переривчастими імпульсами струм, який утворює ряд зварювальних точок, що перекриваються в просторі, чим забезпечується безперервний зварний шов. 4.

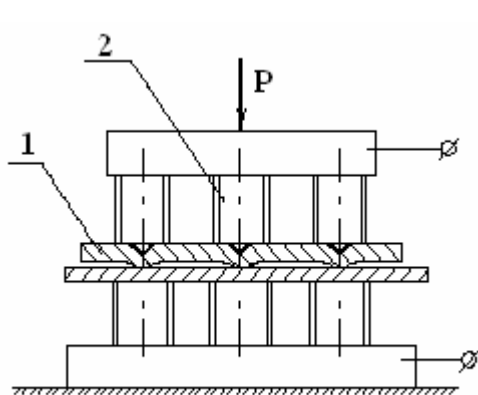


Рис.5.10. Схема рельєфного електроконтактного зварювання

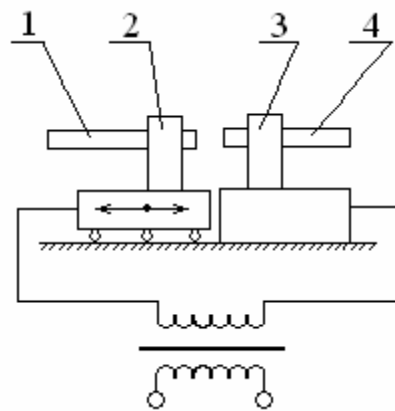


Рис.5.11. Схема стикового зварювання

Режим такого зварювання визначається кроком точок, які утворюють шов, зусиллям стиснення роликів - електродів, силою, який пропускають, і швидкістю прокатування складеного внапуск матеріалу. Уст ці параметри вибирають залежно від товщини та фізичних властивостей зварюваних листів. Проте загальний струм встановлюється більшим ніж в разі точкового зварювання, оскільки в разі шовного зварювання частина струму шунтується через шов. Таке зварювання дає змогу одержати безперервний герметичний з'єднувальний шов, проте можливості його вужчі.

3. Рельєфне електроконтактне зварювання (рис. 5.10), за допомогою якого з'єднуються листові деталі 1 внапуск у багатьох точках одночасно за рахунок наявності кількох притискних електродів-пуансонів 2. Обмеження витрат струму та підвищення ефективності такого зварювання ґрунтується на тому, що матеріал верхнього листа деформується гострими наконечниками верхніх електродів, утворюючи обмежений контакт лише в зварних точках.

4. Стикове електроконтактне зварювання (рис. 5. 11), яке ґрунтується на нагріванні та розплавлянні металевих деталей у місцях з'єднання (контакту) через підвищений у ньому опір в разі пропускання струму великої сили. Загальна кількість теплоти, що виділяється під час проходження струму електричним замкненим контуром, визначається законом Джоуля - Ленца за виразом

$$Q=I^2R\tau, \quad (5.8)$$

де Q - кількість теплоти, яка виділяється в контурі, кал; I - сила струму, який пропускають, А; R - загальний електричний опір контуру, Ом; τ - час пропускання струму, с.

Найбільша частка загального опору припадає на стик деталей 1 і 4, які кріпляться в затискачах кареток 2 і 3. Щоб процес зварювання прискорювався, деталь 1 у момент зварювання вібрує на рухомій каретці 2, утворюючи нещільний контакт і збільшуючи в цьому місці опір. Таке зварювання застосовують тоді, коли з'єднують деталі з різних сталей, мідних, цинкових і алюмінієвих сплавів круглого чи квадратного перерізу або труби по невеликих площадках стику.

5. Конденсаторне зварювання, яке ґрунтується на аналогічному принципі з'єднання таких самих деталей; проте при цьому вібрацію каретки не застосовують. Переривчастість струму в цьому разі забезпечують імпульсними розрядами тривалістю кілька мікросекунд рядом конденсаторних батарей. Після розплавлення зони стику деталі стискають до остаточної кристалізації металу. Таке зварювання, як і всі електроконтактні, не відзначається точністю взаємної орієнтації з'єднуваних деталей.

Дугове зварювання

Принцип дії дугових зварювань ґрунтується на великій тепловій енергії, що

виділяється в зоні виникнення електричної дуги збуджуваній між електродом (інструментом) і зварювальними металевими деталями. Таке зварювання виконують з розплавленням електрода, останній є основним заповнювачем з'єднувального зварного шва, а поверхні стикових деталей злегка оплавляються. У разі дугового зварювання з неплавкими електродами розплавляється метал з'єднуваних деталей.

На якість зварного з'єднання істотно впливають різні хімічні елементи, які з високої температури активно вступають у хімічні реакції з металами. Так, кисень повітря утворює в зварному шві маломіцні оксиди, а азот – крихкі нітриди. Тому в приладобудуванні застосовують дугові зварювання в захисних середовищах. Серед них найбільше відомі аграрно-дугове та плазмове.

1.Аргонно-дугове зварювання ґрунтується на утворенні в зоні зварювання захисного газового середовища з інертних газів (газової подушки). Воно широко використовується в приладобудуванні для з'єднання деталей з погано зварюваних легованих і вуглецевих сталей. Інертний газ аргон з домішкою гелію подається під незначним надлишковим тиском шлангом і рукояткою пальника в лійку 2 (рис. 5.12), звідки вільно витікає в зону зварювання, витискаючи повітря. Зварювальна дуга 3 регулюється переміщенням у лійці неплавкого електрода 1 – вольфрамового стержня.

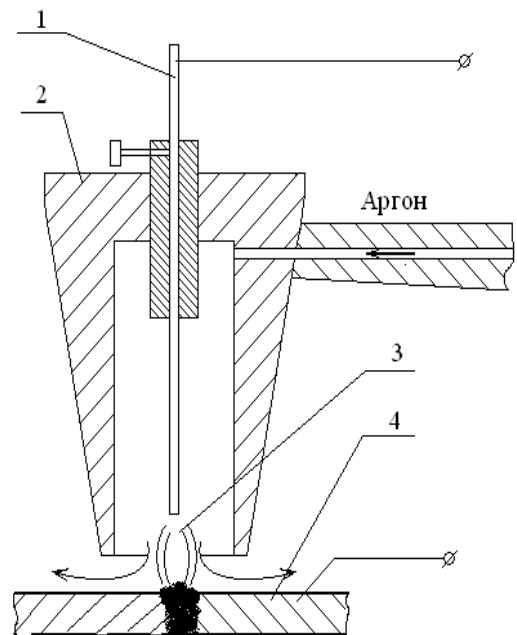


Рис.5.12. Схема аргонно-дугового зварювання

Глибина зварювальної з'єднувальної ванни на деталях 4 визначається потужністю струму. Таке зварювання характеризується хорошими якісними показниками щодо міцності з'єднання, дає змогу зварювати різні за фізичними параметрами метали, воно відносно просте та безпечне.

2.Воднево-дугове зварювання з неплавкими вугільними електродами застосовують рідше і в основному для з'єднання вольфрамових,

нікель-кобальтових сплавів, воно має хороші якісні показники. Воднево-киснева вибухонебезпечна суміш і тому таке зварювання виконується за герметичних умов під скляним ковпаком, через який прокачують водень. Частина водню виходить із сопла й підпалюється для світлової індикації чистоти водневого середовища під ковпаком. Вугільний електрод переміщується по зварюваному контуру роботом – маніпулятором; потужність дуги та глибина проварювання металу регулюються струмом і швидкістю подачі електрода.

3. Плазмове зварювання найперспективніше з дугових видів зварювання і сьогодні набуло найбільшого поширення завдяки універсальності та великій технологічній гнучкості. У схемі

зварювання (рис. 5.13) електрична дуга, утворювана між вольфрамовим стержнем – електродом 1 і вольфрамовим соплом-електродом 2, служить для одержання плазми - дуже розігрітого іонізованого газу 6, утворюваного в плазмовому пальнику. Вона має два повітряних контури. Внутрішній контур утворює

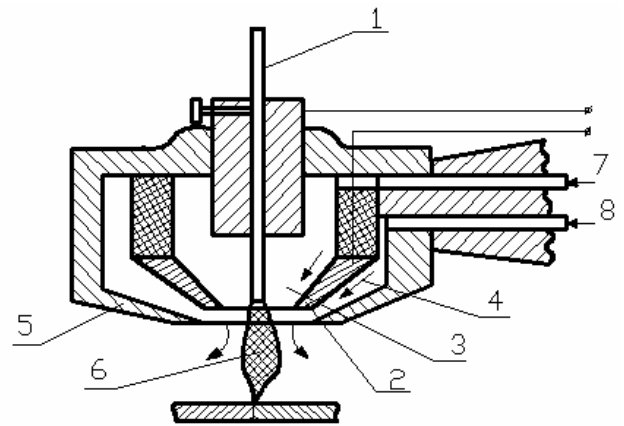


Рис. 5.13. Схема плазмового зварювання

порожнину 3, через яку пропускають газ шлангом 7. Цей газ обтискає електродугу, іонізується в ній і виходить розжареним світним струменем 6. Зовнішній регульовально-захисний контур 4, утворюваний зовнішньою лійкою 5, через яку з газопроводу 8 пропускають інертний газ аргон, дає змогу фокусувати плазмовий струмінь у вузько спрямовану область і водночас захищає зварний шов від дії кисню та азоту. Завдяки хорошому регулюванню зони підігріву за допомогою такого зварювання можна з'єднувати як елементи значної товщини, так і тонкостінні деталі аж до фольги. Через відсутність електроконтактну з деталями можна зварювати метали та неметали (кераміку, ситали тощо), комбінації з'єднань різних елементів. Кількість плазми, яка потрапляє в зону зварювання, визначає область розігріву, точність з'єднання. Якщо через зовнішній контур подавати металевий пил, то в зоні плазми він перетворюється в пару й осідає на холодну поверхню деталі. Так виконується плазмове напилення тонких металевих плівок і різних покриттів.

Сьогодні процес з'єднання елементів зварюванням поглиблюється за рахунок розробки нових методів зварювання, їх особливих специфічних властивостей певних можливостей. Серед цих методів найбільше поширені дифузійне зварювання, тертям (або ультразвукове зварювання), променеве зварювання та ін.

1. Дифузійне зварювання належить до розряду холодних зварювань тобто поверхні з'єднуються без розплавлення зон стику деталей. В основу такого зварювання покладено дифузію матеріалів, які щільно стискаються на тривалий час і витримуються під нагрівом у вакуумних камерах. Температура нагрівання та час витримки визначаються фізичними властивостями з'єднуваних матеріалів і розмірами площі контакту. Звичайно температуру беруть близькою до точки, первинної рекристалізації, а час витримки - у межах 48...60 год. З'єднувані поверхні перед початком зварювання ретельно шліфують, полірують до самих високих класів чистоти, хімічно оброблюють та промивають для активної дифузії. Перевагами даного методу є можливість одержання з'єднання на великих площах без рекристалізації матеріалу деталей та різкої межі перевідних фізичних властивостей різнорідних тіл. Тому дифузійне зварювання вважається найбільш якісним і точним. Застосовуються таке зварювання в основному для одержання транзисторів із різними зонами провідності, бі- та триметалевих пластин, функціональних магнітів і магнітопроводів, різнорідних суцільних кристалів, хвилеводів, фільтрів та інших деталей із специфічними властивостями функціональних елементів. Істотними недоліками такого процесу є його велика трудомісткість, необхідність наявності дорогого вакуумного устаткування та висока собівартість.

2. Ультразвукове зварювання тертям, коли енергія тертя переходить у теплоту, яка оплавляє з'єднувані поверхні у визначених зонах. Такий метод застосовують для з'єднання дрібних деталей у стик або внапуск (рис. 5.14). У магнітостри-

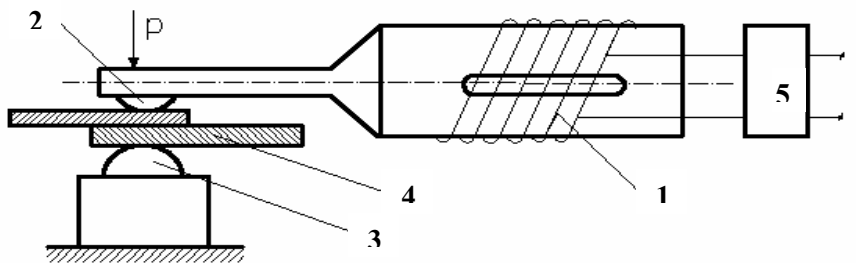


Рис 5.14. Схема ультразвукового зварювання тертям

кторі I , який живиться генератором 5 знакозмінним струмом високої частоти, збуджуються ультразвукові коливання, які через концентратор передаються робочому наконечнику 2. Притискуючи його до деталей 4 з певним зусиллям P , збуджують поздовжні коливання верхньої деталі відносно нижньої, яку стабілізує опора 3. Енергія коливання передається лише у вузько локалізованій зоні й зварювання виконується на малих ділянках на незначну глибину, якої не завжди достатньо для міцності з'єднання. Тому хоча цей метод простий і час його проведення малий, однак він не дістав широкого застосування в промисловості.

3. Променеві зварювання. Останнім часом для точного з'єднування дрібних елементів приладів усе ширше застосовують променеві методи зварювання, до яких належать зварювання електронним і лазерним променями. Принцип дії цих методів ґрунтується на виділенні великої кількості теплоти в разі опромінення поверхонь деталей сфокусованим променем великої енергоємності. У зоні опромінення електронним променем, який генерується електронною гарматою і фокусується магнітними лінзами, досягається температура 3000...5000 °С. Лазерний промінь оптико-квантового генератора прогріває зону з'єднання до 2000...3000 °С. Можливість точного фокусування та дозування теплової енергії, що подається, за таких методів дає змогу виконувати ювелірно точні з'єднання мікроелементів, мікропроводів, мікрофольги, одержувати з'єднання в глибоких порожнинах, за різко відмінних з'єднань легко- та тугоплавких металів і металокераміки.

Зварювання електронним променем потребує ізольованої вакуумної камери та хорошого захисту від радіації, що різко звужує області його використання. Лазерне зварювання оптичним променем виконуються за звичайних умов (можна здійснювати процес з'єднування за прозорим екраном), екологічно безпечно, що робить цей метод перспективним. Потрібно лише захищати очі від яскравого опромінення.

5.3.3. Технологія паяння

Для утворення нероз'ємних з'єднань у приладобудуванні широко застосовується метод паяння, особливо в електромонтажних роботах для паяння

електропровідників. Паянням називається процес з'єднання металевих або металізованих елементів за допомогою проміжного сплаву, який покриває місце з'єднання в розплавленому стані і далі кристалізується. Такий проміжний сплав називається припоєм, температура його плавлення має бути набагато нижчою від температур плавлення з'єднуваних елементів. Міцність з'єднання паянням менша за міцність зварних з'єднань, проте цей метод має ряд істотних переваг, які зумовлюють його широке застосування: простота виконання процесу з'єднання; простота застосовуваного обладнання та устаткування; можливість з'єднання металевих матеріалів у будь-яких комбінаціях; з'єднання виконується без порушень розмірів деталей та їх фізико-механічних властивостей.

Сам процес паяння порівняно простий. З'єднувані поверхні деталей або кінці дроту попередньо зачищають, знежирюють, прогрівають у присутності флюсу, щоб видалити оксиди, і покривають розплавленим припоєм. Часто, щоб поліпшити якість паяння, з'єднувані поверхні попередньо покривають припоєм, а тільки потім спаюють.

Залежно від температури плавлення припоїв розрізняють два різновиди паяння:

- легкоплавкими припоями (стара назва – м'які припої) з температурою плавлення нижче за 350 °С;
- тугоплавкими припоями (стара назва - тверді припої) з температурою плавлення понад 500 °С.

Паяння легкоплавкими припоями виконується звичайними електропаяльниками нагрівання різної потужності (15... 300 Вт). Такий метод з'єднання застосовують в основному для електромонтажних робіт для з'єднання провідників, рідше - для одержання маломіцних утворень із простих деталей. Найбільшого застосування для цього випадку одержали олов'яно-свинцеві припої марки ПОС (ПОС-30, ПОС-40, ПОС-61); які широко випускаються; цифра в них показує відсоток олова в припої. ПОС-30 та ПОС-40 - звичайні найширше застосовувані припої для складально-монтажних робіт, а припій ПОС-61 застосовується для розпаювання електронних схем, мікроелектромонтажу радіопристроїв і процесорної техніки. Для знежирення з'єднуваних поверхонь і поліпшення змочуваності їх

припоєм застосовуються такі флюси: каніфоль або її спиртовий розчин для паяння мідних сплавів і хлористий цинк або соляну кислоту для паяння сталей та інших металів. Часто, поверхні паяння попередньо лудяться (тобто покриваються оловом). Іноді таке паяння виконують занурюванням всього блока в розплавлений припій.

Паяння тугоплавкими припоями виконується газовими пальниками з великою зоною прогріву або індукторними пристроями із спрямовано-локальною областю розігріву металів. Як такі припої в основному застосовують мідно-цинкові сплави: латуні ЛС-59-І та ЛС-60-І або припій ПМЦ-54, згідно з ГОСТ 19248-83 (припій мідно-цинковий, де 54% міді), припій П-58, де 58% міді з додаванням по кілька відсотків олова та кадмію для кращої змочуваності поверхонь. Для паяння відповідальних електроконтактів, хвилеводів тощо застосовують срібні припої ПСр25 та ПСр40 (цифри показують середній відсоток срібла, а решта мідь із цинком). Згідно з ГОСТ 19249-83 усі припої випускаються та застосовуються у вигляді дроту та порошку. При паянні по контуру або на невеликих площах застосовується дріт, а при паянні елементів на значних площах індуктором або в електропечі між поверхнями засипають металевий порошок припою. Щоб знежирити поверхні, застосовують флюси: буру та борну кислоту (сухі флюси), азотну та фтороборову кислоти (рідкі флюси), а також ряд спеціальних типу хлористих калію та літію, фтористого натрію та хлористого цинку тощо.

Як відомо, погану здатність до паяння мають легкі сплави алюмінію та магнію, які широко використовуються в приладобудуванні. Наявність на їх поверхні хімічно стійкої оксидної плівки не дає змоги припоям адгезувати з цими металами, перешкоджає дальшій дифузії припою з деталями. Через те паяння алюмінію та магнію має специфіку. У цьому разі рекомендується застосовувати ультразвукове паяння, де наконечнику, що нагрівається, за допомогою магнітостриктора надаються високочастотні коливання. Ці коливання передаються розплавленому припою на поверхні деталей, через що поверхнева плівка руйнується й спливає на поверхню як легша, даючи можливість припою добре змочувати зону паяння та адгезувати з нею. Для паяння алюмінієвих сплавів застосовуються припої П200, П425А, 34А, а для тонкостінних деталей - АВИА-1 (ГОСТ 19248-83). Для паяння деталей з магнію застосовується припій ПЗ80Мг (ГОСТ 19248-83). При цьому застосовуються

спеціальні флюси Ф59А та Ф61А (ГОСТ 19250-83) на основі триетаноламіну, фторборатів кадмію, цинку та амонію.

Після паяння деталі зачищаються, промиваються етиловим спиртом від флюсів, візуально перевіряються на якість пропаювання місць стику та покриваються нітролаком.

5.3.4. Одержання з'єднань склеюванням

Процес утворення нероз'ємних з'єднань склеюванням належить до прогресивних технологічних процесів завдяки простоті та універсальності, оскільки при цьому можна з'єднувати будь-які матеріали на будь-яких площах. З'єднуючими речовинами при цьому є різні органічні сполуки - клеї, до яких ставляться такі вимоги:

1. Високі адгезійні та когезійні властивості, тобто липкість до поверхонь, яка визначається величиною навантаження на зсув такого з'єднання.
2. Хороша стійкість до вологи, температурних перепадів, вібрації, дії різних середовищ і біологічних мікроорганізмів.
3. Нейтральність до з'єднуваних матеріалів.
4. Тривала "життєздатність" виготовленого за рецептами клею, тобто його придатність якісно з'єднувати певний час.

Клейові з'єднання хоча й не такі міцні, як зварні чи паяні, однак виконують з'єднання внапуск або в стик на великих площах за нормальної або підвищеної до 60...100 °С температури без дорогого устаткування та оснастки. Технологічний процес виконання даної операції такий:

1. Зачищення з'єднуваних поверхонь (усі глянцеві поверхні шліфуються або хімічно травляться).
2. Знежирення спеціальними розчинниками.
3. Попереднє нанесення клею на поверхні стику пензлем або шпателем (пластинкою).
4. Просушування на повітрі 20...50 хв.
5. Повторне нанесення клею (остаточне).

6. Витримка залежно від клею на повітрі 3...10 хв. для певного загустіння;

7. Щільне стиснення до певного зусилля.

8. Витримування в такому стані за нормальної температури на повітрі або за нагріву до 80...100 °С у термостаті заданий час залежно від кристалізації полімеру клею.

9. Промивання розчинником країв, місць затікання клею, але без потрапляння в зону склеювання.

10. Контроль з'єднання.

Щільне стиснення на весь час висихання клею забезпечується застосуванням спеціальних гвинтових притискувачів - струбцинок. У разі склеювання паперу та маломіцних крихких пластмас можна не застосовувати силового притискувача на тривалий час.

Залежно від матеріалу з'єднуваних деталей застосовують різні клеї. Найміцніші клеї, які з'єднують практично будь-які матеріали в будь-якій комбінації, мають малий термін життя після виготовлення й через кілька годин застигають. Існує багато різновидів клеїв, які використовуються в промисловості. Розглянемо основні.

Для з'єднання металів, пластмас, теплостійких пінопластів, скла, кераміки тощо застосовують найміцніші клеї на основі епоксидних полімерів: К-400, ВК-32-ЕМ; епоксидні клеї ЕД-20, ЕД-9; поліуретановий клей ПУ-2, який з'єднує всі різновиди матеріалів.

Широко застосовуються універсальні клеї БФ-2 та БФ-4 (ГОСТ 1272-84) на феноло-формальдегідних полімерах для з'єднання майже всіх різновидів матеріалів, але вони не такі міцні.

Для склеювання струмопровідних поверхонь застосовують клеї-контактоли на основі клею ЕД-9 з додаванням металічної пудри срібла та алюмінію. З цих клеїв найширше застосовується контактол К-4.

При склеюванні оптичних деталей із скла, кристалів, ситалу тощо застосовуються оптичні клеї: бальзаміни, ОК-50П; ОК-60; ОК-72Ф; ОК-90; УФ-235М. Склад цих клеїв, їх призначення та режим склеювання регламентуються ГОСТ 14887-79.

Бакелітовий клей застосовується для з'єднання діелектриків, ізоляторів і

застосовується часто як основа компаундної суміші для заливання електричних блоків для хорошої герметизації. Він еластичний, стійкий до дії кислот, лугів та перепаду температури.

Для склеювання гумових і каучукових елементів з іншими деталями застосовується універсальний клей 88Н. Іноді застосовується швидкодіючий нітроклеї АК-20 для з'єднання пластмасових елементів, ізоляції, різних тканин, фотоплівки тощо. Сумішшю цих двох клеїв одержано універсальний клей для з'єднання різних матеріалів, який називається "Момент".

Для склеювання паперу, картону, шкіри застосовуються клеї загального застосування типу полівінілацетатного клею ПВА, дикстринового клею та ін.

Практика застосування клейових з'єднань у місцях, де немає навантажень у конструкціях механізмів, показує різке зниження трудомісткості виготовлення даних вузлів за рахунок технологічності з'єднання. Єдиним істотним недоліком такого з'єднання деталей є неможливість контролю якості склеювання на кожному вузлі. Тому доводиться застосовувати аналог - супутник, який складається разом з партією виробів, а потім надходить до лабораторії на дослідження міцності з'єднання шляхом руйнування.

5.3.5. Одержання з'єднань пластичним деформуванням

Для одержання нероз'ємних з'єднань у приладобудуванні іноді застосовуються методи утворення таких з'єднань за рахунок пластичного деформування певних частин деталей. До них належать методи клепання, вальцювання та кернування. Усі ці методи належать до традиційно відомих, давно вивчених і освоєних.

Заклепкові з'єднання утворюються за рахунок деформування спеціально додатково застосовуваних для цього кріпильних елементів - заклепок, які вставляють в отвори деталей, складених внапуск (рис. 5.15). Звичайно заклепки мають уже готову форму нижньої

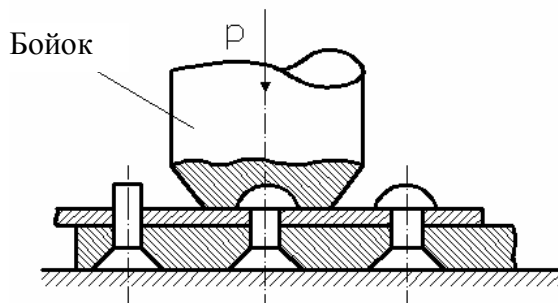


Рис 5.15. Схема утворення заклепкового з'єднання

головки, а деформується тільки верхня їх частина для утворення головки кріплення. Розмірами клепок, форми головок і отвори під них регламентуються ГОСТ 14802-83.

Заклепки виготовляють із суцільним стержнем і порожнисті у вигляді трубочок, які часто називаються пістонами із м'якої сталі чи алюмінію. Пластичне деформування та формування верхніх головок виконується спеціальним профільним інструментом - бойком (рис. 5.15), який має наконечник у формі головки. В одиничному та дрібносерійному виробництві розклепування виконують слюсарними молотками, а в серійному виробництві для цього застосовують спеціальні пневматичні або кривошипні настільні преси, які формують верхню головку заклепки за один хід штока. Зусилля клепання

$$P = Kd^{1.75} \sigma_B^{0.75} [H]$$

де K - коефіцієнт обчислення форми головки заклепки (для сферичної головки $K= 28,6$, потайної $K=26,2$, плоскої (як нижня) $K= 15,2$, порожнистих пістонів $K=4,33$); d - діаметр стержня заклепки, мм; σ_B - тимчасовий опір матеріалу заклепки, Н/мм².

З'єднання розвальцьовуванням - найпрогресивніший метод, позбавлений шумових ударів бойка при клепанні. У цьому разі інструмент - вальцівка, яка має форму наконечника за профілем необхідного пластичного деформування заклепки, пістона, втулки або спеціальної тонкостінної частини деталі. Вальцівка кріпиться в патрон настільно-свердлильного верстата і в процесі деформування швидко обертається (частота обертання – 500...800 об/хв) і зусиллям подається на деталі, які формуються (рис. 5.16).

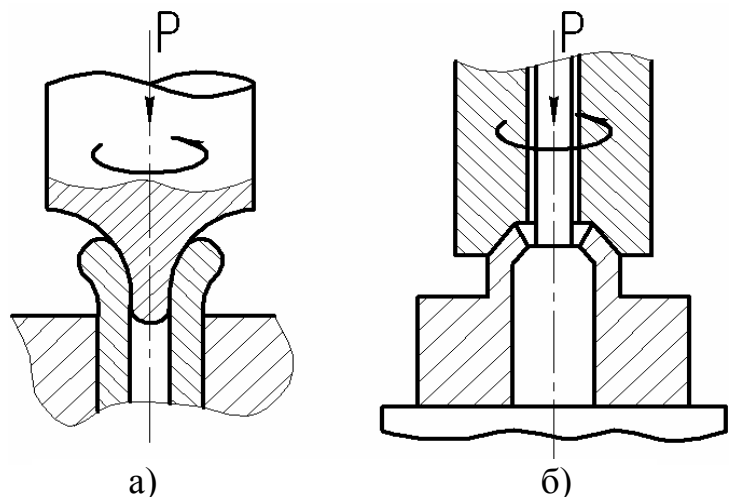


Рис 5.16. Схема утворення з'єднання розвальцьовуванням:

а – за допомогою пістонів;

б – за допомоги загортання кромки цапфи

Тертя, яке виникає, сприяє пом'якшенню матеріалу й він розгортається, набуваючи форми наконечника вальцівки. Процес самого розкочення, тобто пластичного

деформування, відбувається за 1...3 с, не потребує значного зусилля – P , що дає змогу з'єднувати таким методом мало жорсткі конструкції, для яких клепання протипоказане. Таким методом з'єднують деталі внапуск за допомогою пістонів, кріплять втулки (рис. 5.16,а) або загортають осі, цапфи (рис. 5.16,б), кульки, лінзи в оправах. За значних розмірів деталей вальцівки виконуються розкочувальними роликами.

З'єднання кернуванням - це різновид методу клепання, пов'язаний лише з місцевим локальним пластичним деформуванням частини матеріалу деталі, спрямованої деформації частини втулки, гільзи, стакану, ковпачка тощо. Таке з'єднання не відзначається міцністю і застосовується в основному для стопоріння легких ненавантажених елементів або як попереднє під клепання. Інструментом у цьому випадку є бойок з наконечником певної опуклої форми, а джерело зусилля - слюсарний молоток або електромеханічний кривошипний прес. Іноді застосовуються обтискні гвинтові струбцини або щипці. Таким пластичним обтисненням часто встановлюють клеми на кінцях провідників.

5.4. Забезпечення герметичності з'єднань

Більшість приладів, які експлуатуються за атмосферних умов або встановлені на рухомих об'єктах, працює, як правило, за значних змін зовнішнього навколишнього середовища, за умов перепаду вологості, температур і тиску, великої запыленості та загазованості повітря. Щоб захистити робочі органи приладів від дії цих шкідливих факторів, забезпечити нормальну надійну роботу конструкції за будь-яких умов, а також утримувати в деяких приладах певний заданий внутрішній тиск, застосовується герметизація. Герметизація є основним засобом захисту внутрішніх систем і параметрів пристрою від впливу зовнішнього середовища й полягає в ретельній ізоляції їх корпусів і кожухів від проникнення різних газів, парів, рідин, пилу та інших шкідливих елементів.

Герметичність внутрішньої робочої порожнини корпусу приладу може порушитися в місцях з'єднань його елементів, стиків і з'єднань, через механічні та електричні виводи і пори матеріалу корпусу. Конструктивні способи герметизації

каналів зв'язку зовнішнього та внутрішнього середовищ визначаються функціональним призначенням і характеристиками умов, у яких буде експлуатуватися даний прилад. Розглянемо деякі основні принципи герметизації приладових систем.

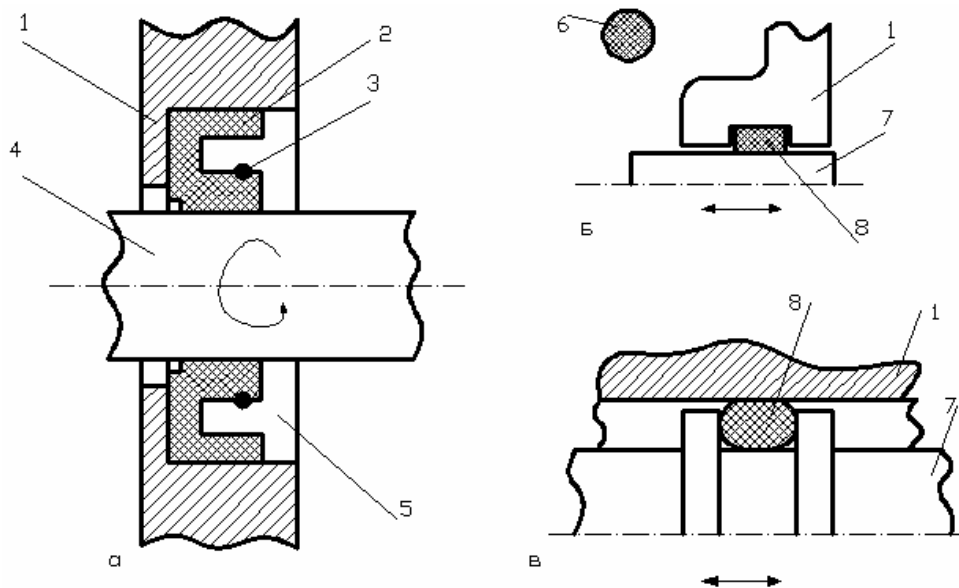
5.4.1. Герметизація механічних виводів

Механічними виводами приладових пристроїв називаються вхідні та вихідні вали, які передають крутний приводний момент, і штоки плунжерного типу, які здійснюють зворотно-поступальне осьове переміщення. Це самі не зручні, щодо герметизації, ділянки пристрою, оскільки в цьому разі є взаємне переміщення виводу відносно корпусу, а отже, неминучі зазори та спрацювання. Герметизуються такі вузли звичайно встановленням пластично-пружних ущільнювачів - манжетів, сальників, манжетних кілець тощо. Такі ущільнювачі, виготовляють в основному з вакуумованої гуми підвищеної щільності, спеціально вичиненої та сформованої шкіри, щільного технічного фетру, полімерних пластмасових матеріалів типу капролоктан-акрил, капролоктан-бакеліт, фторопласт з азбестовим наповнювачем та ін.

На рис. 5.17,а показано один з варіантів герметизації вала 4 за допомогою гумової манжети 2 спеціальної форми, встановленої в гніздо корпусу 1 з внутрішньою порожниною 5. Для вибору щільного зазору та компенсації спрацьованості манжети в зоні тертя на неї одягають пружне розрізне сталеве кільце 3, яке постійно притискає манжету до валу 4.

На рис. 5.17,б,в показано схеми варіантів герметизації штоків 7. Ущільнювальні манжети 6 у вигляді кілець встановлюють або в спеціальний паз-гніздо корпусу 1, або в паз самого штока (рис. 5.17,в), де вони деформуються за формою пазів 8 і щільно закривають зазори.

Коли у внутрішній порожнині міститься масло або мастило, то звичайно ставлять два ступені манжетів: зовнішній, призначений для забезпечення непроникності елементів із зовнішнього середовища, і внутрішній, для утримання мастила або масла в гідросистемі.



**Рис 5.17. Схема можливих варіантів герметизації:
а – вала; б – штока з манжетою в корпусі**

5.4.2. Герметизація з'єднань по площинах

Часто при складанні потрібно забезпечити герметичність рухомого чи нерухомого з'єднання по контурних площинах. Як ізолюючі ущільнювачі в цьому разі установлюють спеціальні прокладки та джгути. Найчастіше їх виготовляють із технічної вакуумної гуми, проте іноді їх роблять із пароніту, фторопласт-капролокиану, азбесту, а в особливих випадках із міді або свинцю.

При герметизації рухомих з'єднань такі ущільнювачі обов'язково ставлять у спеціальні пази в нижній частині конструкції (рис .5.18,а), щоб їх не зсував рухомий верхній елемент. При цьому необхідно стежити при складанні, щоб ущільнювач зазнавав навантаження тільки на стиск, тобто був цілком заглиблений у паз.

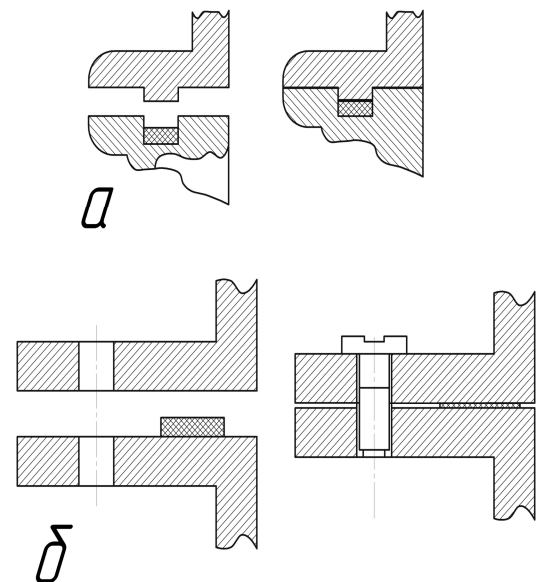


Рис 5.18. Схеми герметизації з'єднань по площинах: а – рухомих; б – нерухомих рознімних

Герметизація нерухомих рознімних з'єднань забезпечується встановленням прокладок (рис.5.18,б) з гуми або з пароніту. У разі стиску частин корпусу вони

деформуються й щільно закривають усі канали зв'язку порожнини та середовища. Коли потрібно забезпечити герметичність нарізного з'єднання, гвинт покривають тонким шаром олова-лудять нарізку, що дає змогу олову пластично заповнити всі зазори між гвинтом і гайкою з'єднання.

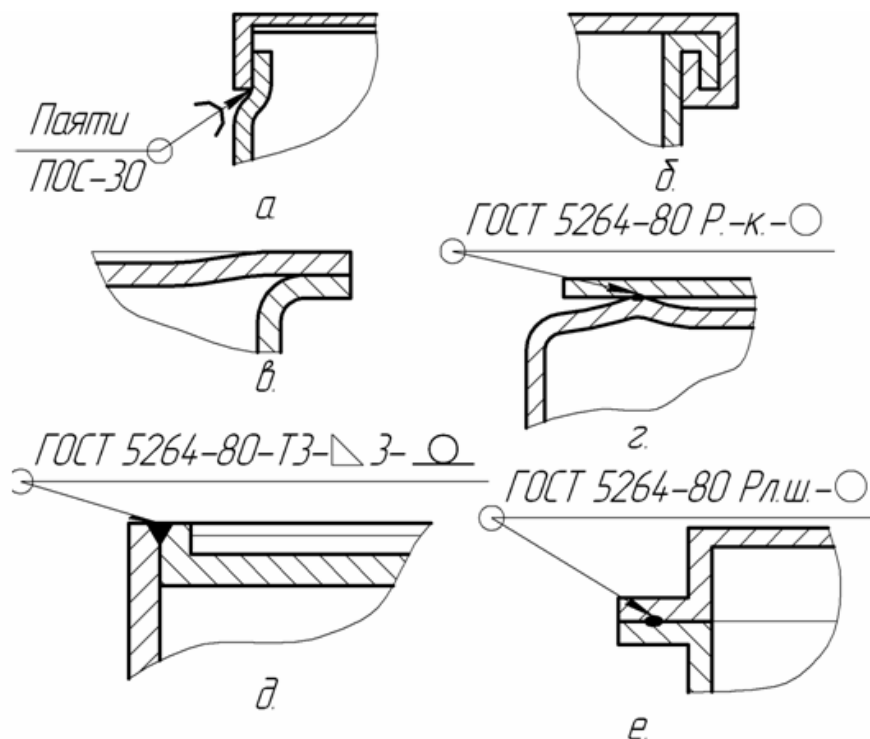


Рис. 5.19. Схеми герметизації нероз'ємних з'єднань за допомогою:
а – пропаювання по всьому контуру; б – загортання бортів кожуха та кришки;
в – пластичного деформування стику; г – рельєфного контактного зварювання;
д – дугового зварювання; е – ролико-шовного зварювання

При одержанні нероз'ємних з'єднань частин корпусу або кожуха герметичність вузла можна забезпечити різними методами. На рис. 5.19 показано можливі варіанти таких з'єднань. На рис. 5.19 а герметичності досягнуто пропаюванням країв з'єднання по всьому контуру. При цьому перед з'єднуванням технологічно доцільно попередньо ці місця пролудити, щоб припій заповнив усі можливі при складанні щілини та зазори. На рис. 5.19б показано приклад герметизації загортанням бортів кожуха та кришки. Це продуктивніший процес, але він не забезпечує вакуумної герметизації, як у наведеному щойно прикладі. На рис. 5.19,в показано схему герметизації за допомогою пластичного деформування стику з'єднань ударом, яка не завжди буває міцною по всьому контуру.

Найчастіше на виробництві герметизацію забезпечують за рахунок зварювання елементів пристрою. Так герметизують усі вакуумні порожнини

приладів, оскільки це найнадійніший та найміцніший метод ізоляції середовищ. При цьому застосовується рельєфне контактне зварювання (рис. 5.19,г), дугове по контуру (рис. 5.19,д), та роликово-шовне зварювання (рис. 5.19,є).

Цими методами герметизуються також манометричні та анероїдні пристрої з мембран і сильфонів.

5.4.3. Герметизація струмовідводів

Така герметизація забезпечується за рахунок застосування спеціальних герметичних штепсельних з'єднань і контактних колодок. За необхідності виведення окремих провідників із герметичної порожнини приладу встановлюються спеціальні герметичні провідникові ізолятори. Деякі різновиди таких ізоляторів показано на рис. 5.20. Звичайно вони виготовляються із скла (рис. 5.20,а,в) у вигляді краплі з фланцем з нержавіючої нікелевої сталі для кріплення або з кераміки конденсаторної (рис. 5.20,б). Міцне та герметичне кріплення цих елементів забезпечується найчастіше паянням, проте іноді за значних динамічних навантажень виробу таке з'єднання виконують рельєфним контактним зварюванням по контуру (рис. 5.20,в).

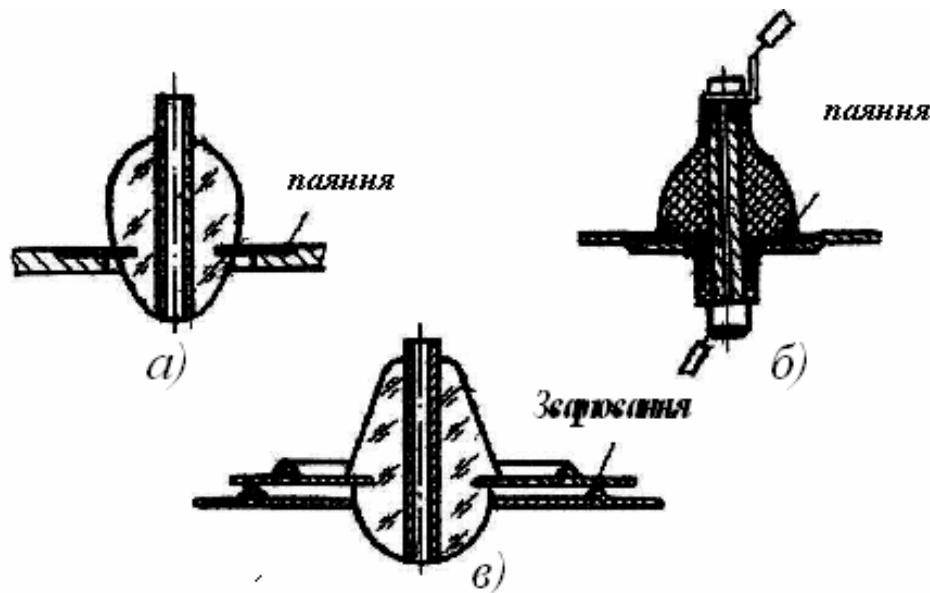


Рис. 5.20. Схема герметизації струмовідводів:
а – ізолятор зі скла у вигляді краплі; б – ізолятор із конденсаторної кераміки;
в – ізолятори зі скла з контактним з'єднанням по контуру.

5.4.4. Контроль герметичності з'єднань

Корпуси та інші елементи приладів, які працюють за підвищених або

понижених тисків або із заповненням особливими рідинами та газами, після герметизації піддаються технологічному контролю щодо її якості. Перевірка виконується різними методами, з яких широко застосовуються такі:

1. Створення надлишкового тиску повітря в герметичній порожнині з перевіркою його витікання за часом манометром або за бульбашками при розміщенні всього елемента у ванні з рідиною.

2. Створення вакууму в герметичній порожнині при відкачуванні повітря до певної межі з далшим вимірюванням манометром зміни тиску за часом.

3. Галоїдно-чутливі течешукачі ГТШ. Більш удосконалені і чутливі прилади контролю герметичності виробів є галоїдно-чутливі течешукачі типу ГТИ-2, ГТИ-3 та БГТИ-6 (який є з батареєю). Вони чутливі до наявності в навколишньому середовищу навіть малих часток газу галоїдів (хлору, бром, фтору).

Принцип дії таких приладів можливо пояснити за схемою, яка представлена на рис. 5.21.

Міліамперметр 1 має знизу трубу 2, яка закріплена в кришці 3 контрольного баку 7. За допомогою кабелю 4 електрострумом

нагрівається ніхромовий

нагрівач 5 і заряджається конденсатор 6. Він має дві металеві пластини які зсередини покриті платиною і при роботі нагріваються до температури 500°C.

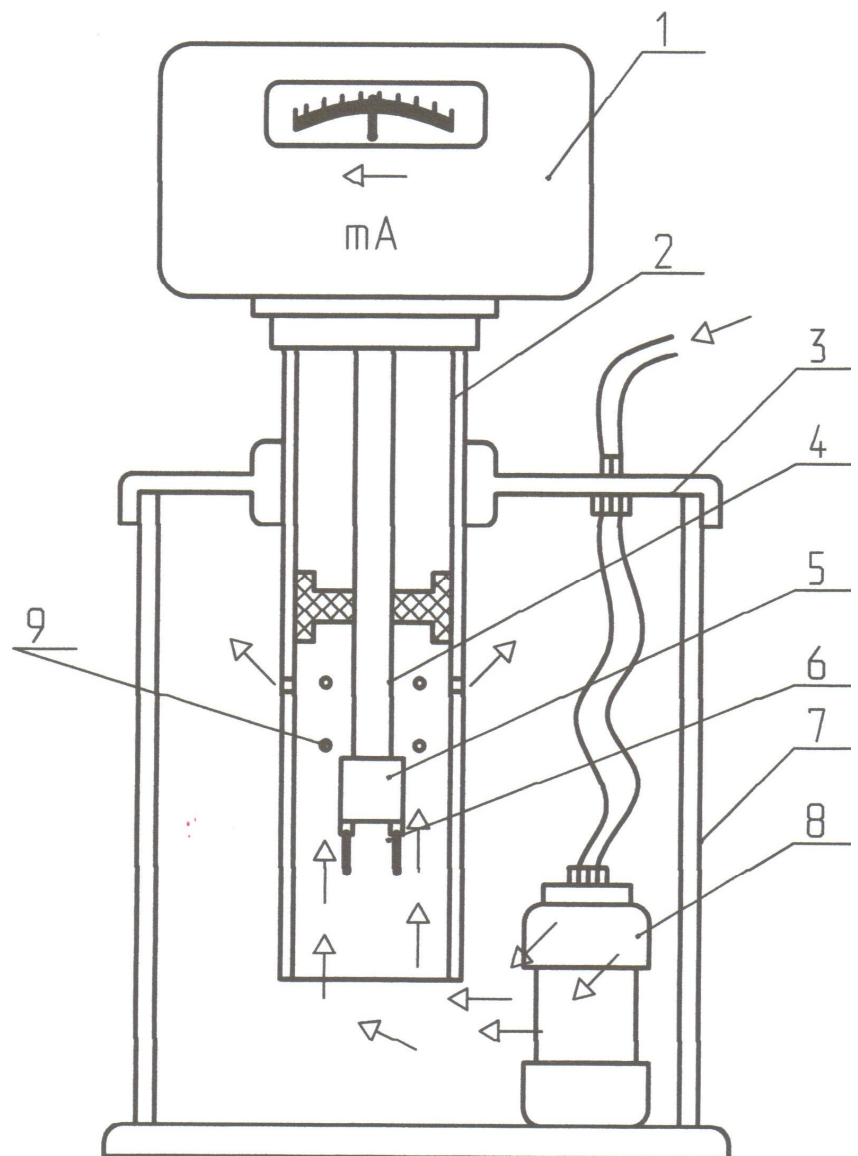


Рис. 5.21. Схема галоїдний течешукачів

В бак 7 розміщується перевіряємий прилад 8 в середину якого запускається під малим тиском газовий хлор, який при негерметичності корпусу приладу виходить з нього у бак 7. Хлор засмоктується з теплим повітрям в трубу 2 і виходить з неї крізь отвори 9. При проходженні між пластинами конденсатору 6 він збільшує струмопроникність між ними, що дає витік струму з конденсатору, що реєструє міліамперметр 1.

Чутливість таких приладів досягає 0,005% хлору в повітрі біля конденсатору.

4. Спектриметричні шукачі СПТШ. Це високочутливі прилади, які працюють на принципі видалення малої частки спектру світла кожним газом або паром різних елементів яка характерна тільки для одного елементу.

Такими надчутливими спектриметричними течешукачами є сучасні прилади СПТШ-4А та СПТШ-6, в яких для перевірки герметичності використовується легкий інертний газ – гелій (He). Він впускається в прилад під невеликим тиском і може проникати через дуже малі щілини або пори.

Прилади працюють за схемою яка показана на рис. 5.22. Пучок світла від лампи 2 формується конденсором 3 і об'єктивом 5 у і світловий промінь, який проходить крізь діафрагму 6, обертається призми 9 і крізь окуляр 11 попадає в спектрометр 1. Він розгортає промінь в повний спектр світла, який можливо роздивитися крізь окуляр 12.

Якщо між призми 9 з'явиться навіть мала частка гелію у визначеній зоні спектру з'явиться смуга без світлового кольору. Чим більша концентрація гелію, тим ширша буде смуга, яка вимірюється по шкалі. Ручками 5 і 11 встановлюють

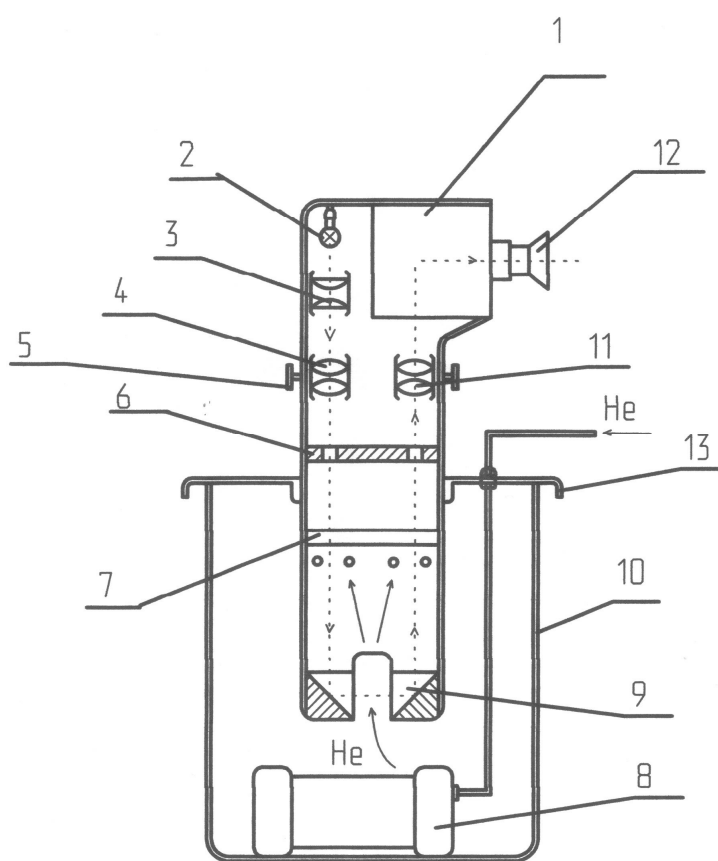


Рис. 5.22. Схема спектрометрії

різкість зображення променю.

Даний метод спектрометрії (або спектроскопії) дозволяє визначити наявність гелію за допомогою СПТШ-4А до 0,0005%, а з СПТШ-6 – до 0,000005% гелію.

Перевага даного методу в тому що він дозволяє проводити перевірку герметичності швидко і не псує елементів приладу, на відміну від попереднього – галоїдного, завдяки використанню інертного газу.

Глава 6. ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ МЕХАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ

6.1. Технологія складання опор кінематичних ланцюгів приладів

6.1.1. Різновиди рухомих опор у приладах і технічні вимоги до них

У кінематичних ланцюгах приладів для вільного встановлення рухомих обертових робочих елементів застосовуються різні опори. Конструкція опор у приладобудуванні різноманітна й визначається специфікою роботи рухомого елемента та рядом технічних вимог.

Основне призначення опор-забезпечити вільне обертання або повертання кінематичним елементом приладу з малим тертям і дотриматися при цьому точного розміщення цих елементів відносно інших кінематичних пристроїв за рахунок чіткої просторової фіксації осі цих елементів. Виходячи з цього призначення до приладових опор ставляться такі основні технічні вимоги.

1. Висока точність виготовлення основних установочних баз опор, яка визначає якість їх експлуатаційних характеристик. Робочі базові поверхні мають виконуватися не гірше ІТ6-ІТ7 з високою якістю поверхонь.

2. Висока точність фіксації рухомого елемента в просторі, що має забезпечуватися за рахунок дотримування під час складання малих радіальних і осьових зазорів. Допустимі зміщення елементів часто обмежуються (1...10 мкм.).

3. Малий момент тертя руху в опорах, що забезпечується за рахунок розробки легких тонких конструкцій, добору особливих матеріалів та високої якості поверхонь контакту. Момент тертя в приладових опорах хоча й має значний допустимий діапазон, але перебуває в межах $1 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-3}$ Н*см.

4. Висока чутливість опор, тобто забезпечення найменшого моменту тертя застою, який у деяких випадках не повинен надто різнитися від моменту тертя руху, коли $M_{тр.ст} = (1,1...,1,3)M_{тр.р}$, що є необхідним для вільного повороту рухомих

елементів під дією малих зусиль. Це звичайно забезпечується за рахунок зменшення діаметрів контакту, обмеження точок контакту, високої жорсткості поверхонь контакту та їх хорошого змащування.

5. Плавність руху опор, тобто дотримання сталості коефіцієнта тертя або моменту тертя по повному оберту рухомого елемента навколо осі обертання. Для ряду опор, наприклад опор гіроскопічних рамок, ця умова надто жорстка та робить розкид параметрів не більше як $\pm 10\%$.

6. У деяких випадках ставляться умови підвищеної стійкості проти спрацювання робочих поверхонь опор, тобто іноді рухомі елементи приладів працюють із значними швидкостями обертання – до 500об/сек.

До деяких різновидів опор висуваються спеціальні вимоги через специфіку їх роботи: наприклад геометричність, антимагнітність, підвищена хімічна стійкість, можливість роботи за високих чи низьких температур, хороша струмопровідність тощо.

Конструкція рухомих опор у приладах дуже різноманітна, і як зазначено раніше, визначається умовами роботи рухомого елемента, габаритними розмірами та навантаженнями. Можна зазначити кілька видів рухомих опор, які найчастіше зустрічаються у приладобудуванні:

1. Опори на шарнірній осі. Це найпростіша конструкція опор тертя ковзання, де рухомий елемент центрується на одній циліндричній осі, яка спирається на отвори-гнізда у втулках. Опірні втулки можуть встановлюватись як у плати або стінки гнізда, так і в стінки самого поворотного елемента, наприклад рамки. Звичайно вісь виготовляється з вуглецевої сталі, а гнізда – у вигляді спеціальних втулок із мідних сплавів або пластмаси. Якісні характеристики таких опор невисокі, оскільки можливе осьове зміщення рухомого вузла, значний коефіцієнт тертя, має місце підвищене спрацювання, потрібне хороше змащування в зонах тертя. Проте завдяки простоті виготовлення такі опори широко використовуються за низьких вимог до точності фіксації елементів і малих швидкостей руху. Найчастіше застосовуються у важільних пристроях.

2. Опори на центрах (рис.6.1) є різновидом конічних опор тертя ковзання і дуже просто обладнані. Застосовується за малих швидкостей обертання, значних за

вимірами в приладобудуванні вагових навантажень рухомого елемента і низьких вимог до точності центрування, плавності руху в момент тертя, за малих динамічних навантажень.

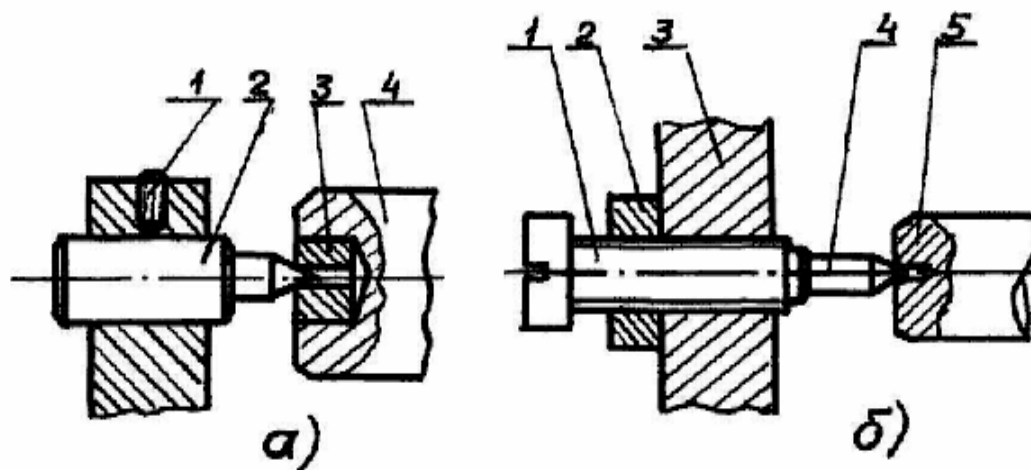


Рис. 6.1. Схеми опор на центрах:
а – з фіксацією стопорним гвинтом; б – з регулюванням гвинтом.

3. Опори на цапфах і підшипниках на каменях (рис 6.2,а,б). Цапфи виконуються з твердих вуглецевих сталей, підшипники-гнізда з благородних каменів: сапфіру, рубіну, агату, топазу або корунду. Такі опори широко застосовують у точному приладобудуванні для встановлення невеликих легких рухомих елементів: електрорамок і обмоток, чутливих до поворотних магнітних елементів, мало навантажених високоточних шестерень вимірювальних пристроїв,

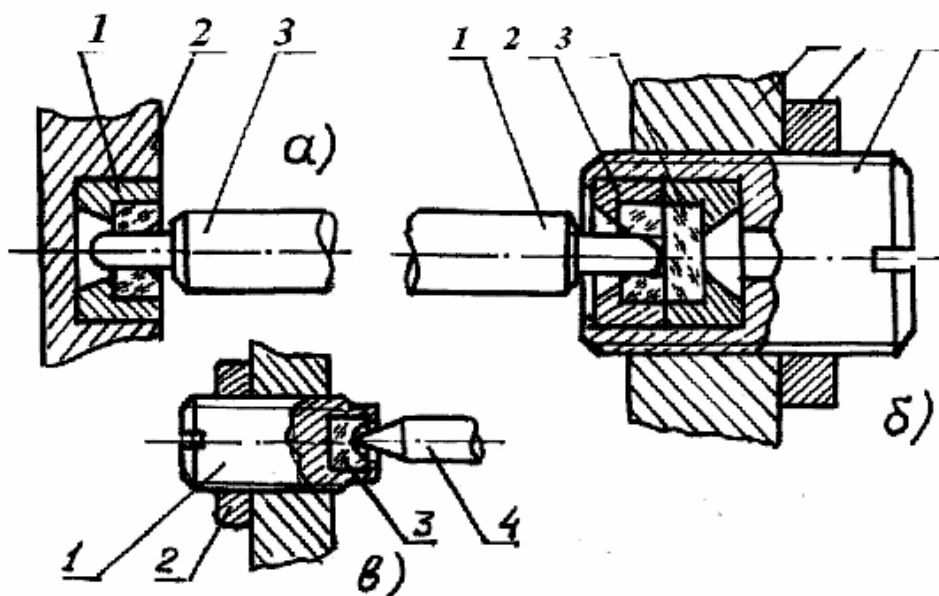


Рис. 6.2. Схеми опор на цапфах і підшипниках на каменях:
а – підшипникове гніздо в корпусі приладу;
б – гніздо в регульовальному гвинті; в – опори на кернях.

приладових стрілок і волосків тощо, де є радіальні навантаження та малі осьові зусилля. Є кілька різновидів конструкцій таких опор. Підшипникові гнізда в оправах можуть встановлюватись або безпосередньо в плату або в корпус приладу(рис. 6.2.а),або монтуватись в спеціальних регулювальних гвинтах(рис. 6.2,б). Детальніший опис подано в розділі технології складання цих опор.

4. Опори на кернах (рис. 6.2,в). Це самі чутливі опори з найменшим моментом тертя та високою плавністю ходу. Вони застосовуються для встановлення малогабаритних чутливих електромагнітоіндукційних елементів малої маси. Керни, виконані з твердих сталей і сплавів, утримуються в гніздах підшипників з благородних каменів. У приладобудуванні є багато конструктивних схем таких опор.

5. Шарикопідшипникові опори тертя ковзання на малогабаритних приладових шарикопідшипниках (ШП) високої точності. Вони широко застосовуються в кінематичних вузлах приладів для встановлення рухомих елементів значної маси, за великих швидкостей обертання, значних динамічних навантажень тощо. У конструкціях приладів застосовуються різні ШП : однорядні радіальні та радіально-упорні, дворядні, двошарові шарикові та роликові тощо.

На точність і довговічність роботи, плавність ходу та моменти тертя в опорах істотно впливають технологія складання та регулювання опор. Наявність великих осьових і радіальних зазорів може призвести до небажаних зміщень рухомих елементів, появи похибок у передачі руху, вібрації. Надмірне зменшення зазорів або натяг в опорах призведе до зростання тертя та спрацювання опор.

Технологічний процес складання опор в основному зводиться до монтажу підшипників, осей і кернів, регулювання осьових і радіальних зазорів і закріплення опор.

6.1.2 Складання опор з тертя ковзання

Технологія складання опор на центрах

Основні вимоги при складанні таких опор – забезпечення необхідного осьового зазору в межах 0.01...0.02 мм і його фіксація. Складання починається з

візуального контролю деталей. Якщо гніздом центра є спеціальна втулка 3 із сталі (див рис 6.1,а), то спочатку такі втулки запресовуються в рухомий елемент 4 або в плату. Центрові отвори-гнізда зачищаються, добре змащуються технічним вазеліном. Осьовий зазор забезпечується відповідним зміщенням центра 2 з фіксацією стопорним гвинтом 1 (див. Рис. 6.1,а) або вгвинчуванням гвинта 1 з центром 4 і фіксацією гвинта контровочною гайкою 2 (див.Рис.6.1,б) на платі 3. Після складання перевіряються свобода ходу та осьовий зазор.

Технологія складання опор на цапфах

У цьому разі треба забезпечити крім осьового зазору потрібний радіальний зазор і хорошу плавність ходу. Складання таких опор починається з монтажу – установлення кам'яних гнізд в оправі. Кам'яні опори в оправках кріпляться склеюванням епоксидним оптичним клеєм ОК-40. Потім виконується доробка отворів у підшипниках відповідними притирами. Після промивання і контролю починається складання рухомого вузла.

Щоб забезпечити потрібний радіальний зазор між цапфою та отвором гнізда в межах 0.005...0.01 мм, застосовується метод групової взаємозамінності підбором (селективне складання) - сортування деталей на групи. Цифри при цьому вимірюють мікрометром з ціною поділки 0,002 мм, а підшипники сортують за допомогою спеціального шкального калібру (рис. 6.3) за розміром отвору. Підшипник 4 до вклеювання в оправу одягають на конусну голку 5 і всувають її в корпус 1 калібру до упору підшипника. За допомогою повзунка-показчика 3 визначають розмір отвору за шкалою 2 з точністю до 0,001 мм.

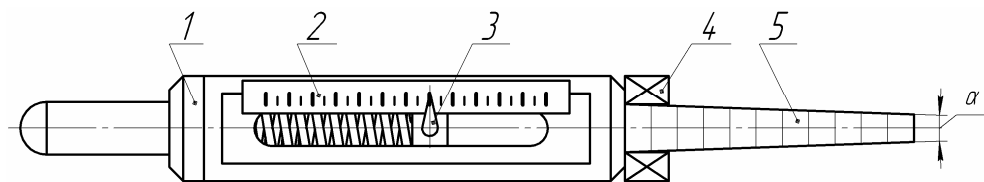


Рис. 6.3. Схема шкального калібру для сортування підшипників за розміром отвору

Оправи з підшипниками 1 пресують у плати 2 (див. Рис. 6.2,а) за допомогою спеціальних ручних пресів (рис. 6.4). На столик 3 встановлюється плати 1. Точне центрування її з підшипником 4 і пуансоном 5 забезпечує спеціальний фіксатор-ловець 2. При обертанні маховичка 8 корпус 11 нагвинчується на гвинт 12, але шток 6 переміщується лише пружиною 7 для плавного пресування. Коли риски 9

сумістяться, починається відлік зусилля за шкалою, яка градується в грамах.

Зустрічаються конструкції таких опор, коли підшипники під цапфу встановлюються не в пластинку, а безпосередньо в регулювальний гвинт-корпус (див. Рис. 6.2,б). У цьому разі для забезпечення певного жорсткого осьового зазору встановлюються два підшипники - опорний 2 та упорний 3. Підшипники в оправах щільно встановлюють після промивки та контролю в гвинт і завальцьовують роликовою вальцівкою.

Потрібний осьовий зазор у цапфах-опорах 1 забезпечується вгвинчуванням гвинта 6 в корпус або плату 4 з контролем зміщення мікрометричним індикатором з ціною поділки 2 мкм. Елементи фіксують контргайкою 5.

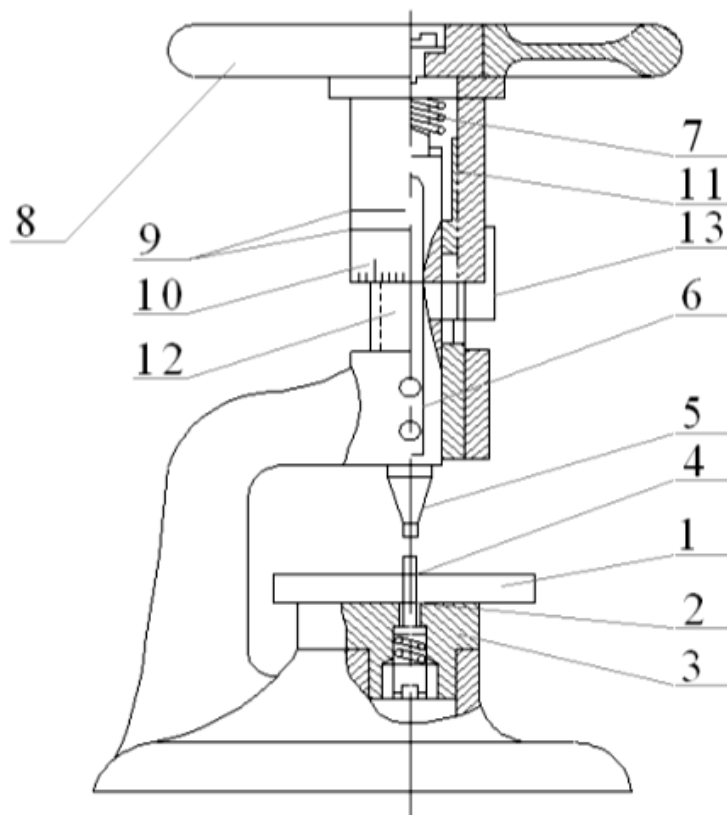


Рис. 6.4. Схема ручного пресу для пресування підшипників

Технологія складання опор на кернах

Звичайно в приладах застосовуються стандартні підп'ятники з благородних каменів 3, встановлені в опору гвинт 1 (див. Рис. 6.2 в). Тому складання таких опор з кернами 4 не викликає великих труднощів. Головні вимоги при встановленні рухомого елемента на кернах у такі опори: забезпечення осьового зазору в межах 0.005...0.01 мм і строга осьова орієнтація протилежних опор. Осьовий зазор у жорсткому вузлі забезпечується вгвинчуванням оправи-гвинта 1 з фіксацією встановлення гайкою 2. Наявність осьового зазору в жорсткому вузлі потрібна для компенсації температурних деформацій. Але разом з тим цей осьовий зазор дає змогу за холодного стану приладу зміщуватися підвісці, що погіршує точність роботи пристрою. Ці дві суперечливі умови часто коли потрібна висока точність орієнтації рухомого елемента змушують застосовувати конструкції опор на кернах із

постійним пружинним підтиском без гарантованого осьового зазору.

На рис. 6.5 зображено схему такої беззазорної опори на кернях із пружинним підтиском підп'ятника з каменя 8 до керну 7. Потрібне зусилля підтиску забезпечується за рахунок регулювання осьового накладання гвинта 2 під час складання, який стискає пружину 3, що діє на рухому втулку оправу 5. Потрібне зусилля підтиску керну ($0.5 \dots 2$ Н) перевіряється при регулюванні грамометром. Для забезпечення постійності змащення в посадці Н6-г5 між рухомою оправою 5 та корпусом 1, на втулку одягається фетровий манжет 4, просякнутий мастилом.

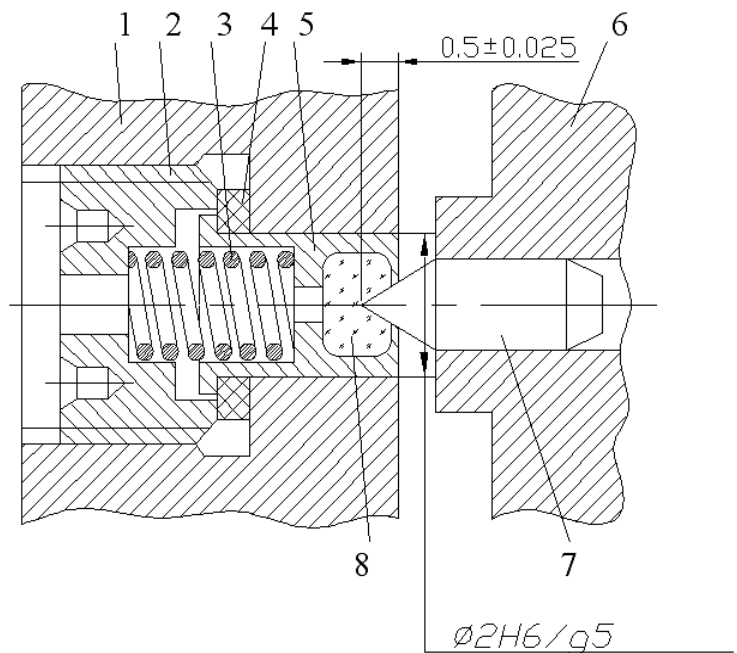


Рис. 6.5 Схема опори без зазору на кернях з пружинами під тиском

Для забезпечення постійності змащення в посадці Н6-г5 між рухомою оправою 5 та корпусом 1, на втулку одягається фетровий манжет 4, просякнутий мастилом.

6.1.3. Технологія складання шарикопідшипникових опор

Шарикопідшипники (ШП) належать до опор кочення і широко застосовуються в конструкціях приладів для розміщення рухомих елементів кінематичних ланцюгів. Шарикопідшипникові опори застосовуються в основному в двох випадках:

1. За значних кутових швидкостей обертання рухомого вузла, коли частота обертання перевищує 2-3 оберти за секунду і застосувати опори ковзання через можливе зношування не можна. У цьому разі застосовуються швидкісні ШП.

2. За вимоги високої чутливості до опор, тобто якомога меншого моменту тертя й високого ступеня волі повороту від незначних зусиль, коли через підвищену вагу підвішеного елемента, що повертається, застосувати підшипники на кернях конструктивно неможливо. У цьому разі застосовуються високочутливі ШП.

Конструкції застосовуваних у приладах ШП було описано раніше. Слід зазначити, що в приладах застосовуються ШП найвищих ступенів точності

розмірами по зовнішній обоймі в межах 2,6...22 мм. У переважній більшості випадків використовують однорядні радіальні ШП за ГОСТ 520-71.

До шарикопідшипникових опор висуваються такі основні вимоги:

1. Висока точність позиціонування обертового та поворотного елемента в просторі.
2. Висока плавність ходу ШП, тобто сталість моменту тертя по всьому повному оберту опори.
3. Малий радіальний зазор.
4. Мале осьове зміщення обойм та рівня їх вібрації.
5. Малий момент тертя, особливо для високочутливих опор.
6. Висока зносостійкість робочих поверхонь ШП, особливо для швидкісних опор.
7. Забезпечення найменшого намагнічування ШП при складенні, щоб уникнути концентрації металевих часточок на їх робочих поверхнях.

Числові значення таких потрібних параметрів задаються виходячи з умов роботи ШП. Шарикопідшипники складаються поетапно: підготовчий контрольно-сортувальний етап; встановлення ШП на посадкові місця; регулювання осьових зазорів в опорах.

Підготовчий етап складається з таких операцій:

1. Візуальний зовнішній огляд ШП під двократним збільшенням після розконсервації та багаторазового промивання на предмет відсутності ознак пошкодження, окислення та прижогів від шліфування тощо.
2. Перевірка плавності ходу ШП за характером самостійного обертання зовнішньої обойми. Її розганяють фрикційним маховиком до швидкості обертання 10...15 об/с, а потім стежать за плавністю самостійного обертання та зупинення.
3. Перевірка торцевого биття внутрішньої (рис. 6.6, а) та зовнішньої (рис. 6.6, б) обойм за допомогою індикатора годинникового типу з ціною поділки 1 мкм. Такі допустимі відхилення звичайно задаються в межах 1...2 мкм.
4. Перевірка радіального биття зовнішнього (рис. 6.6, в) та внутрішнього (рис. 6.6, г) обойм ШП. У процесі перевірки зовнішньої обойми ШП надівають на конусну оправку і плавно повертають вручну зовнішню обойму, реєструючи биття

на індикаторі. У процесі перевірки внутрішньої обойми ШП кріплять за зовнішню обойму, а внутрішню повертають вручну повідцем. Відхилення реєструють індикатором через важільну систему. Допустиме биття звичайно задається в межах ± 1 мкм.

5. Вимірювання монтажної висоти T (рис. 6.6, д) ШП. Підшипник одягається внутрішньою обоймою на палець, на зовнішню накладається ковпачок, висота h якого відома. За допомогою попередньо налагодженого індикатора годинникового типу фіксують цю висоту.

6. Перевірка радіального зазору (він необхідний для компенсації температурних деформацій у роботі і має перебувати в межах гарантованого зазору 3..10 мкм. залежно від розмірів і умов роботи). Перевіряється аналогічно схемі радіального биття (рис. 6.6, в), коли знизу притискають зовнішню обойму із зусиллям 0,5..1 Н.

7. Осьовий зазор (або вільний хід) перевіряють на установці за взаємного осьового зміщення обойм. У швидкісних радіальних ШП залежно від розмірів він коливається в межах 10...30 мкм.

8. Перевірка рівня вібрації обойм ШП. Згідно стандарту (ГОСТ 520-89) всі ШП по рівню вібрації поділяються на три категорії – А, В, С. Для приладових підшипники застосовують категорію А – саму низьку. Перевірку виконують на спеціальному стенді, який

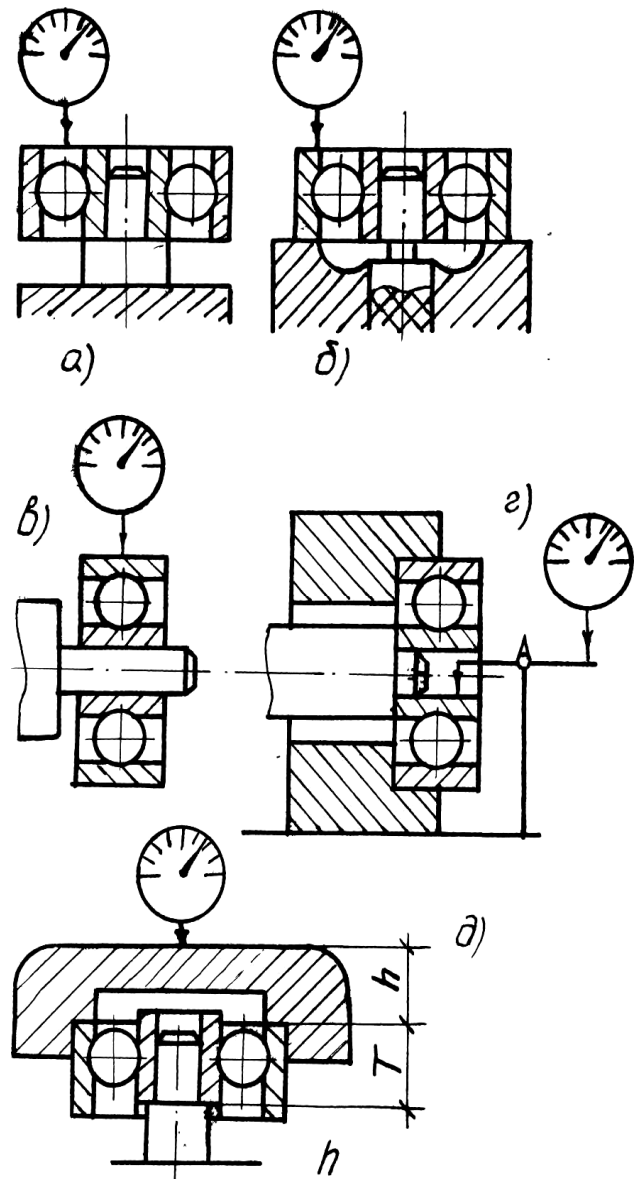


Рис. 6.6 Схеми перевірки шарикопідшипників: а – торцевого биття внутрішньої обойми; б – торцевого биття зовнішньої обойми; в – радіального биття зовнішньої обойми; г – радіального биття внутрішньої обойми; д - вимірювання монтажної висоти ШП.

схематично зображений на рис. 6.7, а.

Підшипник, що контролюється 1 одягається на конусну оправку 2, яка встановлена на супорті головки 7 підводу і відводу ШП за допомогою рукоятки 8. Підшипник підводять до маховика 3, на який зверху одягнута тонка гумова куля, а маховик точно збалансований. ШП щільно притискають до маховика, що швидко обертається. При наявності вібрації обойм ШП пружна оправка 2 буде вібрувати, що вловлює вібродатчик 4 – п'єзоакселерометр, який генерує електрострум. За шкалою міліамперметра 6 визначають рівень вібрації підшипника та його категорію у даному розділі точності виготовлення.

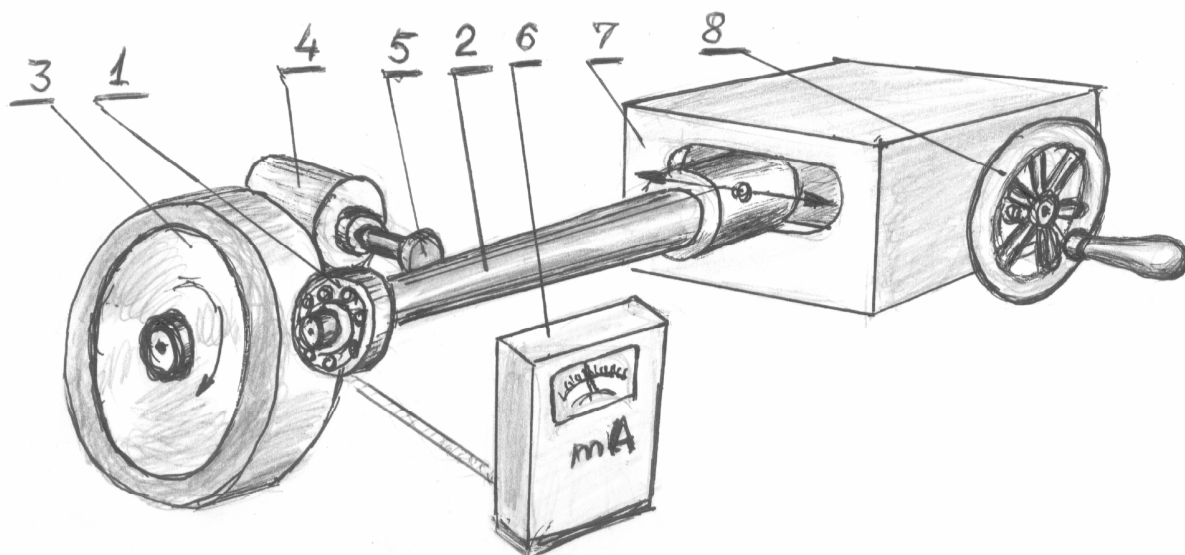


Рис. 6.7 а. Стенд для перевірки рівня вібрації обойм шарикопідшипників.

9. Перевірка моменту тертя в ШП. Для швидкісних підшипників такий момент не має перевищувати

$5 \cdot 10^{-3} \dots 8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{см}$, а для

високочутливих - $2 \cdot 10^{-3}$

$\dots 3 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{см}$. Контроль

виконують найчастіше

на пневмоустановці

(рис.6.7,б). Шарикопід-

шипники вставляють на

фіксатор 10 внутрішньої

обойми, а на зовнішню

обойму одягають ковпачок 9, який несе штангу 8 з екраном 7 і протидією 11. Екран

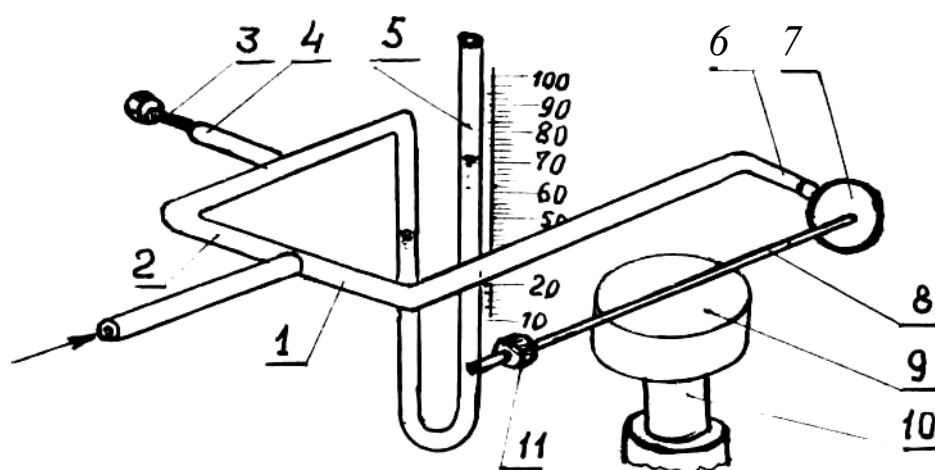


Рис. 6.7, б. Схема перевірки моменту тертя ШП за допомогою пневмоустановки

7 підводять до сопла 6 приводного коліна 1 пневмосистеми. Коліно 2 реєстрації має пневмо-манометр 5 із шкалою, проградуєваною в ньютонах-сантиметрах (Н·см). За допомогою дроселя 4 та голки та гвинті 3 виставляють потрібний тиск у манометрі за зміни тиску в заводській пневмомагістралі. У момент контролю збільшують тиск у системі доти, поки повітря із сопла 6 не почне повертати штангу з екраном, а манометр покаже значення $M_{тр}$.

10. Контроль на залишковий магнетизм виконується за допомогою магнітометрів безпосередньо перед монтажем опор. За наявності магнетизму в підшипнику він піддається розмагнічуванню в потужному знакозмінному магнітному полі поліноїду.

Установлення ШП на посадочні місця є одним із головних процесів їх монтажу, який потребує спеціальної оснастки та відповідних навиків. Звичайно щільно встановлюють тільки одну з обойм підшипника, а іншу встановлюють вільно. При цьому користуються таким правилом: щільно встановлюється та обойма, яка обертатиметься під час роботи приладу, а не обертова обойма встановлюється вільно для можливості само установлення в потрібне за рахунок зміни секторів навантаження при повторях обойм.

Для розміщення внутрішньої обойми ШП вісь-цапфу виготовляють : за вільного встановлення – за посадками h5 або h6, за щільного – за посадками js5 або js6, k5 або k6, n6 або r6.

Для розміщення зовнішньої обойми ШП отвір-гніздо виготовляють за посадками „вал”: у разі вільного встановлення із зазором – за посадками H5 або H6, у разі щільного – за посадками Js5 або Js6, K5 або K6.

За особливо точного встановлення ШП опор часто застосовують селективне складання з попереднім сортуванням спряжуваних поверхонь за дійсними розмірами на групи (див. П. 2.2.2).

Щільне встановлення ШП у приладобудуванні виконують на настільних ручних важільних або гвинтових пресах (див. Рис. 6.4) із застосуванням спеціальних установочно-орієнтуючих пристосувань для точного взаємного розташування посадочних поверхонь без перекосу.

У момент монтажу потрібно дотримуватись обережності, щоб запобігти

навантаженню пресування на шарики. Тому для передачі зусилля застосовуються спеціальні накладні ковпачки: на внутрішню (рис. 6.8,а) та зовнішню (рис. 6.8,б) обойми, з проміжною опорною шайбою за щільного встановлення обох обойм (рис. 6.8,в). Перед установленням ШП посадочні місця ретельно промиваються в бензині та змащуються технічним вазеліном.

У процесі монтажу ШП із щільною посадкою особливу приділяють зусиллю пресування, щоб уникнути надмірної деформації обойм. Із розділу пресування відомо, що зусилля пресування

$$Q = \pi D l f p$$

де D – діаметр пресування; l – довжина поверхні контакту; f – коефіцієнт тертя в парі контакту; p – питомий тиск на поверхні стику,

$$P = \frac{\Delta \cdot 10^{-3}}{DC/E} = \frac{\Delta \cdot E}{10^3 \cdot DC}, \quad (6.1)$$

де Δ - максимальний натяг, мкм.; E – модуль пружності матеріалу обойми; C – коефіцієнт жорсткості обойми виходячи з розмірів її зовнішнього та внутрішнього діаметрів (див. рис 6.8),

$$C = \frac{D_3^2 + D_B^2}{D_3^2 - D_B^2} \pm \mu, \quad (6.1, a)$$

де μ - коефіцієнт Пуассона; знак „+” береться в цьому виразі у разі стиснення при вставлянні зовнішньої обойми в гніздо /див. Рис 6.8,б/, коли $D_3=D_{33}$; $D_B=D_{3B}$, тобто внутрішній діаметр зовнішньої обойми; знак „-” береться в разі розтягання при

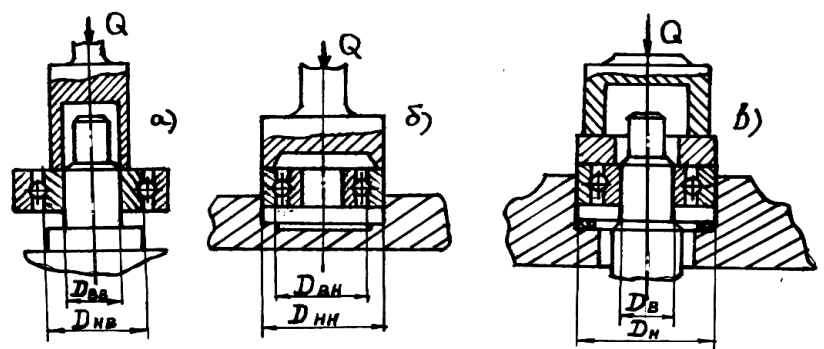


Рис.6.8. Схеми встановлення ШП на посадочні місця: а – на внутрішню обойму; б – на зовнішню обойму; в – за щільного встановлення обох обойм

напресовуванні внутрішньої обойми на вісь (див. рис 6.8,а), коли $D_3=D_{3B}$ (зовнішній діаметр внутрішньої обойми), $D_B=D_{3B}$ (внутрішній діаметр внутрішньої обойми). Жорсткістю посадочних місць під ШП, тобто жорсткістю гнізда в корпусі або осі-

цапфи, нехтуємо, вважаючи їх абсолютно жорсткими порівняно з жорсткістю обойми ШП, що не впливають на точність розрахунків.

Через наявність певного натягу Δ в зоні контакту при пресуванні відбувається деяка пружна деформація обойми ШП. Так, в разі щільного вставляння зовнішньої обойми за зовнішнім діаметром D_{33} її внутрішній діаметр D_{B3} зменшується на величину

$$\Delta D_{B3} = \frac{PD_{B3}D_{33}^2 \cdot 10^{-3}}{E(D_{33}^2 - D_{B3}^2)} [\text{мкм}] \quad (6.2)$$

У разі напресовування внутрішньої обойми на цапфу внутрішнім діаметром D_{BB} збільшується її зовнішній діаметр на величину

$$\Delta D_{3B} = \frac{PD_{3B}D_{BB}^2 \cdot 10^{-3}}{E(D_{3B}^2 - D_{BB}^2)} [\text{мкм}] \quad (6.3)$$

Для забезпечення якісного складання опор потрібно, щоб пружні деформації обойми ШП, які виникають, не призвели до стиснення шариків і порушення їх нормальної роботи. Можливе максимальне зменшення зазору між шариками та їх біговими доріжками має не перевищувати допустиме. Така деформація ШП у приладобудуванні береться в межах 2..4 мкм.

Підставляючи значення P з (6.1) у (6.2) і (6.3), після перетворень дістаємо

$$\Delta D_{B3} = \frac{\Delta^* D_{B3} D_{33}}{C(D_{33}^2 - D_{B3}^2)} ; \quad \Delta D_{3B} = \frac{\Delta^* D_{3B} D_{BB}}{C(D_{3B}^2 - D_{BB}^2)} .$$

З цих рівнянь знаходимо допустимий натяг пересування $\Delta_{\text{доп}}$ за заданої за умов монтажу ШП деформації ΔD :

$$\Delta_{\text{доп}} = \frac{(\Delta D_{B3})C(D_{33}^2 - D_{B3}^2)}{D_{B3}D_{33}} ; \quad \Delta_{\text{доп}} \leq \frac{(\Delta D_{3B})C(D_{3B}^2 - D_{BB}^2)}{D_{3B}D_{BB}} \quad (6.4)$$

За визначенням значення $\Delta_{\text{доп}}$ знаходимо за таблицею допусків ЄСДП СЕВ 144-75 оптимальну посадку за натягом Js, K, N, R або js, K, n, r.

Приклад. Вибрати посадку для щільного вставляння зовнішньої обойми в гніздо плати для підшипника $\varnothing 13\text{мм}$ (D_{33}), щоб деформація ΔD_{B3} не перевищувала 3 мкм. Усереднений внутрішній діаметр зовнішньої обойми $\Delta D_{B3} = 10$ мм. Коефіцієнт Пуассона для ШХ15М беремо таким, що дорівнює 0,35.

Коефіцієнт жорсткості обойми (6.1, а)

$$C=[(13^2+10^2)/(13^2-10^2)]+0,35=4,25.$$

За (6.4) при $\Delta D_{B3}=3$ мкм.

$$\Delta_{don} \leq \frac{3 \cdot 4,25(13^2 - 10^2)}{10 \cdot 13} = 6,75 \text{ мкм} \approx 7 \text{ мкм}$$

За таблицею знаходимо відповідну посадку К4, де розмір гнізда $\theta 13_{-0.001}^{+0.006}$ мм.

Природно, що таке точне встановлення в серійному виробництві ефективніше забезпечити селективним складанням з групою взаємозамінності. Приклад такого складання розглянуто в розділі І.

За встановлення точних чутливих ШП опор при вимірюванні зусилля пресування за допомогою тензометричних динамометрів, установлених у прес, контролюють правильність одержання з'єднання.

Регулювання осьового зазору в шарикопідшипникових опорах, є відповідальною операцією кінцевого етапу складання всього рухомого вузла, що повертається. Необхідність такого обов'язкового регулювання диктується тим, що, з одного боку, розмірний ланцюг, який об'єднує весь рухомий вузол і збірний корпус кінематичного пристрою, дуже складний та мало точний, а з іншого звичайно вимагається чітка осьова фіксація рухомого елемента, оскільки ШП опори дуже чутливі до осьових зміщень. За значного осьового зазору весь вузол легко зміщуватиметься під час роботи, спричиняючи вібрацію та похибку, а за відсутності зазору різко й багаторазово зростають момент тертя, спрацювання і теплові деформації елементів ШП, що також призводить до помилок роботи.

Осьовий зазор у кінематичному вузлі ШП опор у приладобудуванні звичайно регулюється прокладками-шайбами, а іноді упорними регульовальними нарізними гайками. Деякі схеми встановлення прокладок для регулювання осьового зазору показано на рис. 6.9.

За щільного встановлення ШП на вал прокладки встановлюють під фланець кришки (рис.6.9,а), а за відсутності кришки та наявності глухого посадочного отвору-гнізда вони встановлюються під зовнішню обойму (рис.6.9,в). За щільного встановлення ШП за зовнішньою обоймою найчастіше використовується перехідна установлювальна втулка (рис.6.9,б), що спрощує складальний процес і робить

конструкцію технологічною. Прокладки в цьому разі встановлюють під зовнішній фланець втулки.

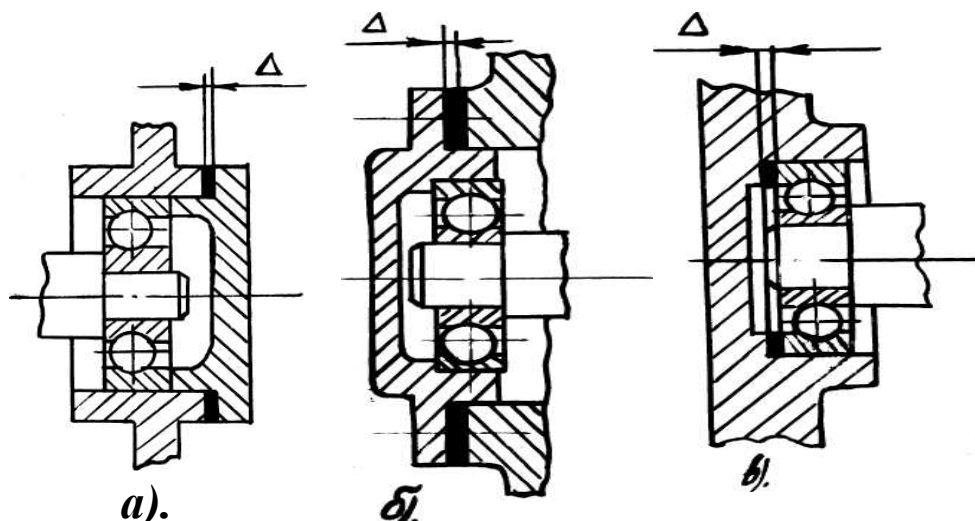


Рис.6.9. Схеми регулювання осьового зазору в ШП

Осьові зазори регулюють методом поступового добору потрібної товщини Δ прокладок на спеціальних установлювальних пристосуваннях із вимірюванням осьового зміщення осі мікрометричним пристроєм або індикатором годинникового типу.

Такий допустимий осьовий зазор витримується в межах 10...20 мкм. залежно від габаритних розмірів елементів і швидкості обертання.

Після монтажу опор ШП змащується спеціальними маслами типу ЦИАТИМ 204.

Якщо після складання всього кінематичного вузла потрібно провести тривалі технологічні його випробування під навантаженням або балансування рухомого елемента, то дані процеси часто виконують на не справжніх, тобто технологічних, шарикопідшипникових опорах, які використовуються з цією метою багаторазово. За остаточного складання несправжні підшипники замінюють новими.

6.2. Технологія складання зубчастих передач.

6.2.1 Основні вимоги до зубчастих передач.

У кінематичних ланцюгах приладів і систем автоматики для передачі або певного перетворення руху часто використовується різні зубчасті механізми. У приладобудуванні застосовується майже всі різновиди таких передач: циліндричні з прямими або косим зубом; конічні прямозубі, косозубі або геліодні ; черв'ячні з черв'ячною або звичайною шестернею; планетарні, диференціальні, функціональні пристрої із звичайними або хвильовими зубчастими колесами (ЗК) та ін. Конструктивно вони звичайно оформлюються у вигляді самостійних складальних одиниць - редукторів, які містять від одної до десяти зубчастих пар, об'єднаних у одному жорсткому корпусі, та які перебувають між собою в точному розмірному взаємозв'язку. Приладові зубчасті передачі характеризуються великими передавальними відношенням, коли передавальне відношення редуктора $i_p=100..2000$.

Застосовувані в приладобудуванні зубчасті передачі призначені в основному для виконання двох функцій , тому можна поділити їх на дві групи.

Перше призначення таких пристроїв – певне перетворення швидкості руху від двигуна до вихідної ланки. Такі передачі характеризуються основним параметром – кутовим передавальним відношенням $i=\omega_{вих}/\omega_{вх}$ де $\omega_{вих}$, $\omega_{вх}$ - кутові швидкості обертання відповідно вихідного та вхідного валів редуктора. Це так звані швидкісні передачі, які часто працюють за значних швидкостей. Редуктори бувають підвищувальним $\omega_{вих}>\omega_{вх}$ або знижувальними $\omega_{вих}<\omega_{вх}$.

Друге значення зубчастих пристроїв – перетворення та передача від вхідного елемента до вихідного певної кількості руху. У цьому разі найважливішим показником пристрою є миттєве передавальне відношення $i_M=\partial\varphi_{вих}/\partial\varphi_{вх}$, де $\varphi_{вих}$, $\varphi_{вх}$ - кути повороту відповідно вихідного та вхідного елементів передачі. Такі зубчасті передачі застосовуються в кінематичних ланцюгах перетворення вхідного сигналу в контрольно-вимірювальних, керуючих і регулювальних приладах і системах автоматичного керування. Вони працюють звичайно за незначних швидкостей і

малих навантажень.

Виходячи з різного призначення та специфіки роботи цих двох груп передач, до них висуваються особливі технічні вимоги.

1.Вимога підвищеної кінематичної точності роботи передач, особливо другої групи, коли коливання миттєвого передавального відношення $\Delta i_m = i_{мд} - i_{мт}$ як різниця між справжнім і теоретичним розрахунковим миттєвими передавальними відношеннями за повним кутом повороту вихідного вала 360° має не перевищувати $10' \dots 20'$ у перерахунку на кутові міри. Тому технологічний процес виготовлення елементів передач другої групи та процес їх складання мають бути точнішими із застосуванням додаткових окремих, регулювальних і контрольно-перевірочних робіт. Для шестерень передач другої групи застосовуються 3-5тий ступені точності виготовлення, тоді як шестерні редукторів першої групи виготовляють за 7м ступенем точності. У цьому разі увага приділяється нерівномірності кроку зубів по колу колеса та його нагромадженій похибці

2.Вимога малого вільного ходу, тобто наявності певних зазорів у зубчастих зчепленнях як лінійних ΔC або кутових $\Delta \varphi$, що небажано в передачах другої групи, але необхідно для вільного ходу та компенсації теплових деформацій у передачах першої групи за зміни зовнішніх умов.

3.Вимога підвищеної плавності ходу під час роботи зубчастих передач, що забезпечує одержанням при складанні якомога меншого та сталого потрібного вхідного обертового моменту для провертання передачі або сталість споживаної потужності. Це особливо стосується пристроїв першої групи.

4.Вимога високого ККД передач обов'язкова.

5.Вимога міцності та підвищеної зносостійкості висувається до редукторів першої групи.

6.Вимога сталості всіх характеристик передач протягом усього терміну служби приладу чи можливих змін зовнішніх умов експлуатації.

6.2.2. Аналіз точності складання редукторів

Визначальний вплив на точність роботи зубчастих передач має точність

виготовлення зубчастих коліс, міжосьових відстаней на корпусах та інших елементів редуктора. У процесі складання можуть з'явитись різні зміщення та перекоси. Як результат виникають сумарні похибки редуктора Δi_p , які призводять до неточності його роботи. Найістотніше на таку точність впливає надмірний зазор у зубчастому зчепленні, який спричиняє кутовий вільний хід, тобто можливість провертання одного колеса на малий кут без дії на інше колесо.

Кутовий вільний хід у зубчастій парі пов'язані із боковим монтажним зазором ΔC , який вимірюється лінійним максимальним переміщенням зуба одного колеса по основному колу до торкання із зубами другого колеса, виразом

$$\Delta C = 0,145 m Z \Delta \varphi,$$

де m, z – модуль і число зубів колеса.

Такий боковий зазор утворюється сумою гарантованого складання зазору S_r та похибки складання спряження Δ_3 . Гарантований боковий зазор визначається застосуванням у схемі передачі типом бокового спряження зубів Н, F, Е. Спряження Н без зазору ($S_r = 0$) найчастіше застосовується в приладобудуванні, особливо для передач другої групи. Для швидкісних передач характерне застосування спряження F із невеликим гарантованим зазором. Тоді загальний боковий зазор

$$\Delta C = S_r + \Delta_3.$$

Похибка бокового зазору Δ_3 виникає з ряду причин, основні з яких такі: похибка виготовлення міжосьових відстаней посадочних отворів у корпусі або платі ΔA_k ; похибки виготовлення радіуса основного кола спряжуваних коліс r_{01} та r_{02} ; похибки виготовлення основного кроку зубів цих коліс Δt_1 та Δt_2 ; похибки виготовлення товщини зубів на даних колесах ΔS_1 та ΔS_2 ; наявність радіального зазору в підшипникових опорах ΔR_1 та ΔR_2 . Тоді ймовірну похибку бокового зазору між спряжуваними зубами пари коліс можна визначити як випадкову величину за формулою

$$\Delta_3 = \sqrt{(\Delta A_k^2 + \Delta r_{01}^2 + \Delta r_{02}^2 + \Delta R_1^2 + \Delta R_2^2) \sin^2 \alpha + (\Delta S_1^2 + \Delta S_2^2 + \Delta t_1^2 + \Delta t_2^2) \cos^2 \alpha}, \quad (6.5)$$

де α - кут зчеплення зубчастих коліс.

Із виразу (6.5) випливає, що сумарна похибка досить істотна і може призвести

до значних відхилень від точності роботи цілого пристрою, оскільки потрібно враховувати вплив передавального відношення подальших пар редуктора, особливо коли він підвищувальний. З механіки відомо, що передавальне відношення всього підвищувального редуктора з кількістю пар K за $j = 1, 2, \dots, K$

$$i_p = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots i_k = \prod_{j=1}^K i_j$$

де i_j - передавальне відношення між кожною окремою парою.

Наявність у кожної окремої пари кутових вільних ходів через зазори $\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2, \dots, \Delta\varphi_K$ спричинює похибки передавальних відношень Δi_j кожної пари:

$$\Delta i_1 = \frac{\Delta\varphi_1}{\alpha\varphi_{вх}}; \Delta i_2 = \frac{\Delta\varphi_2}{\alpha\varphi_{вх}}; \dots; \Delta i_K = \frac{\Delta\varphi_K}{\alpha\varphi_{вх}},$$

де α – кут повороту вхідного валу.

З урахуванням впливу передавальних чисел подальших пар редукторного ланцюга сумарна похибка

$$\Delta i_{\Sigma p} = \Delta i_1 \frac{\prod_{j=1}^K i_j}{i_1} + \Delta i_2 \frac{\prod_{j=1}^K i_j}{i_1 i_2} + \dots + \Delta i_K \frac{\prod_{j=1}^K i_j}{\prod_{l=1}^K i_l}. \quad (6.6)$$

Після перетворень у загальному вигляді при $j=1, 2, \dots, K$; $l=1, 2, \dots, n$ дістанемо

$$\Delta i_{\Sigma p} = \prod_{j=1}^K i_j \sum_{j=1}^K \left(\frac{\Delta i_j}{\prod_{l=1}^n i_l} \right), \quad (6.7)$$

де $j=1, 2, 3, \dots, K$ - порядковий номер пари коліс; $l=1, 2, 3, \dots, n$ - поточне передавальне відношення; $n=1, 2, 3, \dots, K$ - кількість співмножників ряду, передавальних чисел зубчастих пар редуктора ($i_1 i_2 \dots i_n$).

Передавальне відношення знижувального редуктора при $j = 1, 2, \dots, K$

$$i_p = \frac{1}{\prod_{j=1}^K i_j} < 1$$

Наявність кутових зазорів $\Delta\varphi_j$ призведе до появи сумарного кутового ходу, а нагромадження похибки кроку зубів на колесах спричинить нерівномірність ходу елементів передач. Усе це зумовить наявність похибок передавальних чисел Δi_j , які з урахуванням впливу подальших пар

кінематичного ланцюга дадуть загальну похибку

$$\Delta i_{\Sigma P} = \Delta i_1 \frac{i_1}{\prod_{j=1}^K i_j} + \Delta i_2 \frac{i_1 \cdot i_2}{\prod_{j=1}^K i_j} + \dots + \Delta i_K \frac{\prod_{j=1}^K i_j}{\prod_{j=1}^K i_j}. \quad (6.8)$$

Після перетворення в загальному вигляді при $j=1, 2, \dots, K; l=1, 2, \dots, n$

$$\Delta i_{\Sigma P} = \left(1 / \prod_{j=1}^K i_j \right) \sum_{j=1}^K \left(\Delta i_j \prod_{l=1}^n i_l \right). \quad (6.9)$$

Із виразів (6.6) і (6.8) можна дістати аналогічні, формули для визначення загального сумарного бокового зазору $\Delta \varphi_{\Sigma P}$, який може викликати похибку передачі. від вільного ходу.

Для підвищувального редуктора

$$\Delta \varphi_{\Sigma P} = i_P \left(\frac{\Delta \varphi_1}{i_1} + \frac{\Delta \varphi_2}{i_1 i_2} + \dots + \frac{\Delta \varphi_K}{i_P} \right) \quad (6.10)$$

для знижувального

$$\Delta \varphi_{\Sigma P} = (1/i_P) (\Delta \varphi_1 i_1 + \Delta \varphi_2 i_1 i_2 + \dots + \Delta \varphi_K i_P) \quad (6.11)$$

З аналізу виразів (6.6)-(6.11) випливає і що на точність роботи підвищувального редуктора найістотніше впливає похибка роботи першої пари, а на точність роботи знижувального редуктора - в основному остання пара. При цьому наявність кутових зазорів $\Delta \varphi_j$ проявляється у вигляді похибки за реверсивної роботи редукторів як відставання повороту останньої пари або вихідної ланки до повного вибору зазорів у всіх зубчастих парах. Наявність у кожному зчепленні нагромадженої похибки основного кроку зубів $\Delta t_{\Sigma j}$ викликає змінну (плаваючу) похибку миттєвого кутового передавального відношення Δi_{MP} цілого редуктора як різницю екстремальних відхилень кутових передавальних відношень:

$$\Delta i_{MP} = \frac{i_{MP}^{\max} - i_{MP}^{\min}}{i_{PT}}, \quad (6.12)$$

де $i_{MP}^{\max}$, $i_{MP}^{\min}$ – можливі максимальні відхилення передавального відношення передачі від середнього теоретичного значення i_{PT} .

Загальна похибка роботи редуктора $\Delta i_{\Sigma P}$ складається з усіх відхилень $\Delta \varphi_{\Sigma}$ та Δi_{MP} , що в екстремальних випадках може дати їх загальну сумарну похибку - найбільше відхилення $\Delta i_{\Sigma P}$. Тому в процесі складання редукторів або окремих зубчастих передач вимірювальних приладів, які підвищують вимірювальний сигнал, особлива увага приділяється регулюванню точності роботи першої пари зчеплення і вимоги до виготовлення її коліс мають бути значно вищими.

Приклад. Визначити похибку підвищувального редуктора приладу, регулюючого тиск, від сумарного вільного кутового ходу за реверсивної його роботи, який має три пари циліндричних зубчастих коліс із передавальними числами $i_P = 4 \cdot 5 \cdot 5 = 100$, якщо в усіх зубчастих парах є однакові кутові зазори $\Delta \varphi_1 = \Delta \varphi_2 = \Delta \varphi_3 = 20'$.

Згідно з (6.10) сумарний зазор

$$\Delta \varphi_{\Sigma} = 100 \left(\frac{20}{4} + \frac{20}{4 \cdot 5} + \frac{20}{4 \cdot 5 \cdot 5} \right) = 500 + 100 + 20 = 620'.$$

Таким чином, за зміни напрямку обертання вхідного вала вихідний вал редуктора спізнюватиметься на 620 с (10 хв. 20 с). Як видно з результату, на 620 с основну частку похибки вносить перша пара (до 80%).

6.2.3. Підготовчий етап складання

Технологічний процес складання редукторів складається з ряду основних етапів, кожний з яких містить ряд певних операцій. Складання починається з підготовчого етапу, до якого входять комплектування складання, промивання та вхідний контроль елементів.

Комплектування виконується згідно із супроводжуючими виріб комплектувальними відомостями, комплектувальними картами та технічними умовами на складання виробу. До комплекту звичайно входять корпус редуктора чи плати зі стояками та кронштейнами, набір зубчастих коліс, вали або осі, втулки, цапфи, встановлювальні кільця, шарики-підшипники або центрові гнізда для кернових опор, ущільнюючі прокладки, кришки, штифти та кріпильні елементи. Ряд відповідальних деталей (корпуси та шестерні) супроводжується відповідними паспортами із зазначенням їх основних геометричних і фізичних характеристик, умовами

контролю та складання. Одержані деталі розсортовуються, багато разів промиваються в бензині, сушаться та надходять на вхідний контроль.

Вхідний контроль перед складанням є одним із головних факторів забезпечення надійності складання, точності роботи виробу, що складається виробу. Перевіряють усі основні деталі та вузли. Особлива увага приділяється точності виготовлення геометричних параметрів зубів коліс, посадочних поверхонь, точності їх взаємного розміщення, якості робочих поверхонь. Усі елементи контролюються на відсутність задирок, раковин, ділянок корозії, якості покриття.

Шестерні відповідальних зубчастих передач перевіряють за якістю зчеплення на спеціальних контрольних установках і пристосуваннях обкаткою з еталонним колесом. Контрольний стенд 1 для перевірки точності виготовлення зубчастих коліс (рис. 10, а) має рухоми каретку 2 на яку встановлюється вільно перевіряєме колесо 3, яке пружиною 5 щільно притискається до еталонного багатозубчастого колеса 4, виготовленого з дуже високою точністю. При ручному його провороті похибки виготовлення шестерні 3 будуть фіксуватися дрібними зміщеннями каретки 2, що фіксує точний індикатор 6 переміщенням стрілки на відповідну величину по шкали в МКМ.

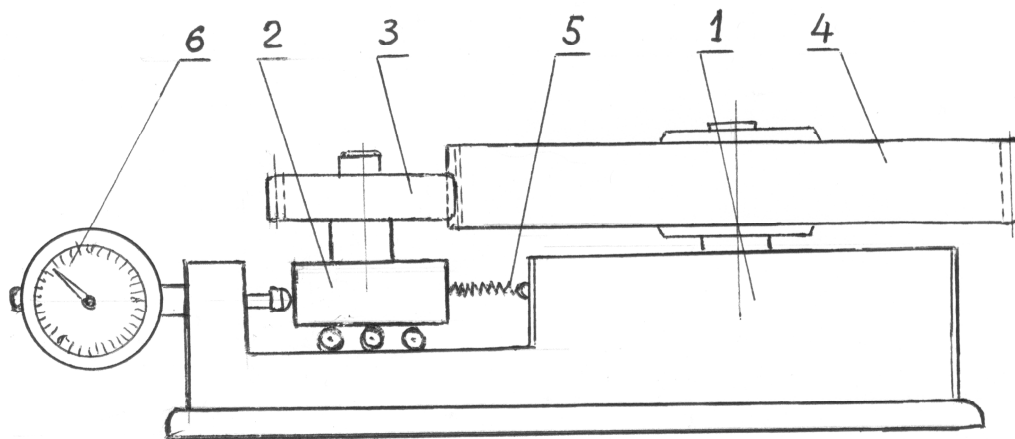


Рис. 10, а. Схема контрольного стенду для перевірки точності виготовлення зубчастих коліс.

При цьому реєструється кінематична точність шестерні, плавність, правильність контакту зубів, за прямою дотику. Усі ці характеристики регламентовані стандартами за відповідними ступенями точності. За незначних відхилень параметрів від допустимих допускається доробка зубчастих пар спільною обкаткою – припрацюванням на спеціальних обкатних стендах. Підшипники та

вали часто сортують на певні групи за справжнім посадочним розміром для застосування методу складання добором із груповою взаємозамінністю (селективного складання).

6.2.4. Складання та контроль зубчастих передач

Другим етапом складального процесу є попереднє складання зубчастих передач або редукторів. При цьому звичайно дотримуються такої послідовності виконання операцій. Спочатку складаються шестерні 2 з валами 7 (рис. 6.10, б) спільною доробкою отворів у цих деталях із подальшою їх штифтовою; потім виконується складання з регулюванням осьових зазорів підшипникових опор з валами та осями; встановлюються зібрані колеса з опорами в корпус редуктора І з підбором відповідних встановлювальних кілець 5 і прокладок 6, підбором і встановленням втулок і кришок 4. Установлювальні кільця та прокладки підбираються або приганяються за розміром "за місцем" для забезпечення потрібного складального встановлення коліс без перетиснення підшипників, з малим осевим зазором.

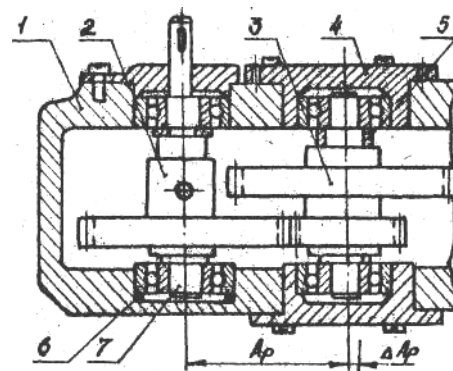


Рис. 6.10, б. Схема редуктора з регулювальними втулками

При встановленні зубчастих коліс у корпус контролюється та регулюється вільний хід або кутовий зазор між парами. Вони перевіряються тонкими свинцевими дротиками, які закладаються між спряжуваними зубами. Вимірюючи мікрометром сплющений між зубами дротик, роблять висновок про розмір зазору. Необхідно або забезпечити беззазорне стикування коліс (для передач вимірювальних приладів), або дістати його в межах 5...8 мкм. для швидкісних передач. Вільний хід у зубчастих парах 2 і 3 регулюється відповідним розвертанням ексцентрикової втулки 4, внутрішній посадочний отвір якої зміщено відносно зовнішнього діаметра на величину ΔA_p . Цей діапазон регулювання вибирають з умови $\Delta A_p > \Delta_z$. Повертаючи втулку 4 за кутовим кроком кріпильних отворів на кут 30% (гвинтів звичайно ставлять 4-6 шт.) можна забезпечити в даній передачі потрібний за технічними

умовами зазор. У багатоступінчастих редукторах такий зазор регулюють послідовно рядом ексцентрикових втулок. У конічних передачах боковий зазор у зчепленнях регулюють осьовим зміщенням однієї з конічних шестерень.

Третім етапом складання зубчастих передач є перевірка правильності одержаного зчеплення. Правильність встановлення коліс перевіряється на контактну пляму дотику. Зуби одного з коліс докриваються фарбою, звичайно берлінською лазур'ю, а потім прокаткою одержують плями контакту на іншому колесі (рис. 6.11). Якщо ця пляма розташована посередині зуба та рівномірна по всій його довжині (рис. 6.11, а), то зчеплення одержано правильно. У разі асиметрії такої плями можна визначити значене зміщення коліс у парі (рис. 6.11, б) або їх взаємний перекіс (рис. 6.11, в).

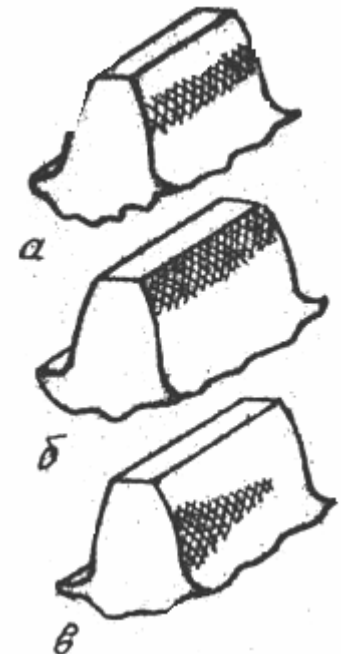


Рис. 6.11. Схема перевірки правильності зчеплення за допомогою плями дотику; а – зчеплення правильне; б – значне зміщення коліс у парі; в – взаємний перекіс коліс

Якість попередньо складеного редуктора перевіряється вимірюванням основних точностних характеристик: величини вільного ходу, статичного моменту рушання, кінематичної точності передачі та її плавності ходу.

Вільний хід або сумарний боковий чи кутовий зазор перевіряється на спеціальних установках (рис. 6.12) за допомогою вимірювання величини провертання вхідного вала за нерухомого вихідного. Вихідний вал 2 редуктора 1 стопориться за допомогою затискання важеля 3 стопорним пристроєм 4. На вхідний вал 5 кріпиться двуважільний важіль 6, нижній кінець якого повертається на обидва боки пружинним динамометром 7 з певним зусиллям. Вимірюючи індикатором годинникового типу 8 переміщення другого кінця важеля, можна визначити сумарний боковий зазор у передачі:

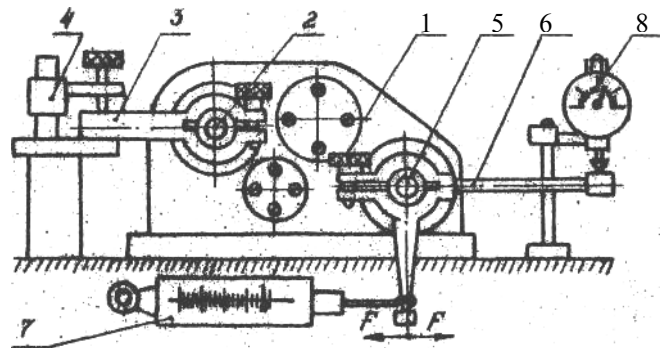


Рис. 6.12. Схема перевірки вільного ходу редуктора

$$\Delta C_{\Sigma_{\text{вх}}} = 0,145 m Z_{\text{пр}} \Delta \varphi_{\Sigma_{\text{вх}}} < \Delta C_{\text{дон}},$$

$$\Delta\varphi_{\Sigma_{ex}} = \frac{h}{l}$$

де $\Delta C_{\Sigma_{ex}}$ і $\Delta\varphi_{\Sigma_{ex}}$ - лінійний та кутовий бокові сумарні зазори редуктора;

Z_{np} - приведена кількість зубців редуктора, як сума всіх величин кількості зубців всіх зубчатих коліс поділена на кількість цих коліс;

ΔC_{don} - допустима величина бокового зазору відповідно до норми точності, за якою виконують перевіряємий редуктор;

h і l – величина переміщення кінця важеля 6 та його довжина.

Статичний момент рушання зубчастої передачі потрібно контролювати для того, щоб визначити тертя в передачі та її ККД, свободу роботи за різних температурних режимів і динамічних навантажень. Перевірка виконується на тому самому пристрої, але з розкріпленням вихідним валом 2. За допомогою динамометра 7 визначають силу F яка починає провертання передачі, та розраховують момент

$$M_{CT} = Fl,$$

де l - наперед відоме плече важеля, мм.

Кінематична точність передачі - одна з найголовніших її точнісних показників редукторів контрольно-вимірювальних приладів, перевіряється вимірюванням сталості передавального

відношення i_m за повним кутом повороту вхідного вала. Часто для цього застосовуються оптичний метод вимірювання, схему будови якого показано на

рис. 6. 13. На вхідний вал 5 редуктора кріпиться багатогранна оптична інструмент-

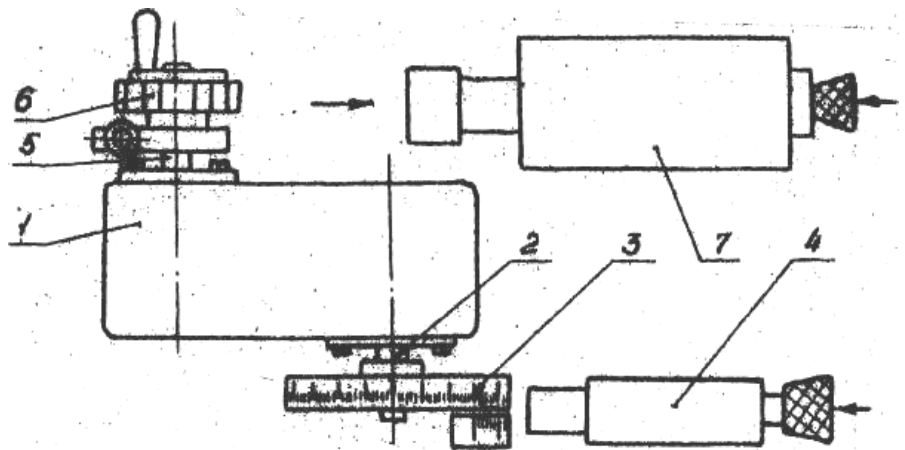


Рис. 6.13. Схема перевірки кінематичної точності передачі

тальна призма 6, кут повороту якої на відоме строго визначене значення фіксується автоколіматором 7 з точністю до .5 с. Результуючий кут повороту вихідного вала 2 реєструється чутливими мікроскопом 4 за допомогою колової шкали та ноніуса 3, встановлених на цьому валу. За результатами вимірювань будується крива

неузгодженості дійсного передавального відношення i_{MD} з теоретичним i_{MT} (рис. 6.14) і визначається їх максимальне відхилення $\Delta i_M^{\max}$, яке має не перевищувати встановлений за технічними умовами на виріб допуск за кінематичною неточністю, за виразом:

$$\Delta i_M^{\max} = \frac{(+\Delta \varphi_{вих})^{\max} - (-\Delta \varphi_{вих})^{\max}}{\varphi_{вих}}$$

де $(+\Delta \varphi_{вих})^{\max}$ і $(-\Delta \varphi_{вих})^{\max}$ - максимальне відхилення дійсного миттєвого передатного відношення Δi_{MD} в (+) і в (-) від теоретичного його значення Δi_{MT} , яка представляє пряму лінію;

$\varphi_{вих}$ - кут повороту вхідного валу редуктора.

Отримане значення $\Delta i_M^{\max}$ повинно бути менше допустимого, що визначається нормою точності редуктора.

Плавність ходу та споживану потужність зубчастої передачі перевіряють за рахунок реєстрації варіації обертового моменту за повним оборотом вхідного або вихідного вала вимірюванням споживаної потужності контрольним електродвигуном (рис. 6.15). Вхідний вал 4 редуктора 2, який перевіряється, за допомогою перехідної муфти 5 з'єднується із зразковим редуктором 6 із приводом 7, енергетичні характеристики витрат яких визначені на холостому режимі без навантаження. За різних швидкостей навантажування відхилення споживаної потужності, яка реєструється ватметром 8, має не перевищувати $\pm 5\%$ для, точних

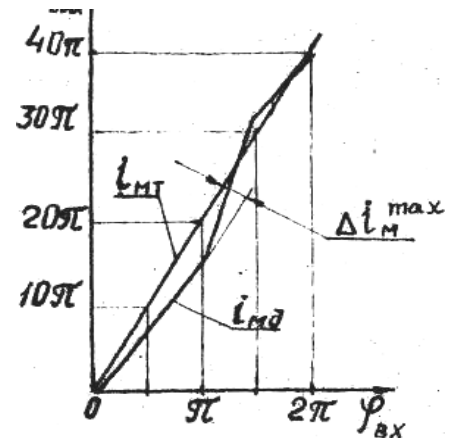


Рис. 6.14. Графік неузгодженості справжнього та теоретичного передавального відношення

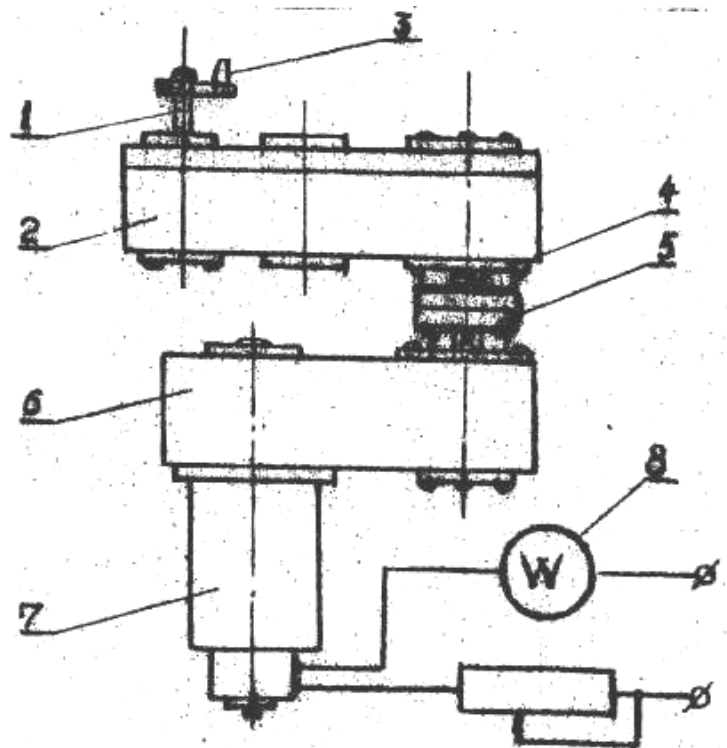


Рис. 6.15. Схема перевірки плавності ходу зубчастих передач

передач. Для реєстрації поворотів вихідного вала на нього одягається прапорець - показчик 3.

Після регулювання та контролю зубчасті передачі розбираються для візуального контролю елементів, їх промивання та змащування. В. процесі розбирання взаємне розміщення деталей фіксується проставлянням означальних рисок. Розбиранню підлягають лише рознімні з'єднання. Усі елементи передачі ретельно промиваються, оглядаються та змащуються відповідними приладовими маслами, які забезпечують нормальні умови роботи виробу за різних температур. Зуби швидкісних передач іноді покривають твердим графітовим мастилом, яке дає змогу працювати тривалий час без додаткового змащування.

Потім виконується остаточне складання зубчастої передачі в тій послідовності, що й попередньої із взаємною орієнтацією деталей за наявними рисками. При цьому виконується остаточна герметизація редуктора, якщо він перебуває в самотійному корпусі, щоб уникнути потрапляння вологи та домішок. Багато поверхонь покриваються безбарвним нітролаком для додаткового захисту. Усе з'єднувальне технологічне кріплення замінюється на нове у відповідальних передачах.

Завершується технологічний процес складання та регулювання зубчастих редукторів відповідними випробуваннями та перевіркою основних якісних характеристик. За раніше описаними методиками контролюються кінематична точність, вільний хід, статичний момент рушання передачі, її плавність ходу та споживана потужність. Для відповідальних пристроїв усі одержані характеристики заносяться до паспорта, який супроводжує виріб.

6.3. Технологія балансованих робіт у приладобудування

6.3.1 Основні означення

У конструкціях приладів часто зустрічається елементи, які обертаються під час роботи зі значними швидкостями, такі, як ротори мікро електромашин (генераторів або електродвигунів) та гіроскопічних пристроїв, маховички, шестерні, несучі диски, фланці осердя та ін., а також чутливі вузли, що повільно повертаються, такі, як провідникові рамки гальванометричних приладів, несучі рамкові підвіси, платформи та осердя, гірокільця карданного підвісу гіроскопічних систем, магнітні покажчики компасних навігаційних приладів тощо. На точність роботи всіх цих елементів, які обертаються чи повертаються, істотно впливає їх невірноваженість (незбалансованість), яка призводить до виникнення шкідливих збурюючих зусиль.

Елемент приладу, в якому при обертанні виникають збурюючі сили, називається невірноваженим, а величина таких сил характеризує його дисбаланс. Причиною виникнення невірноваженості або дисбалансу (дебалансу) є несиметричне розміщення окремих мас елемента відносно його осі обертання. За балансування вісь обертання ВО елемента вважається основною (головною) визначальною щодо справжньої геометричної центрувальної осі пристрою, а елементи, які балансують, називаються роторами,

Причинами зміщення мас є похибки виготовлення елементів і їх складання. Так, неоднорідність щільності матеріалу деталі в різних її частинах, їх взаємний ексцентриситет і зміщення з геометричної осі деталі, похибки від не перпендикулярності торців, нерівності осей, різна товщина рамок і платформ спричиняють невірноваженість елемента за обертання. Під час складання можуть з'явитися зміщення та несиметричність від похибок намотки дроту, перекосів і зміщень при згвинчуванні або пресуванні елементів вузла, їх просоченні, ізоляції тощо. Підсумовуючись, такі похибки можуть призвести або до зміщення всього центра мас ротора з осі обертання, або до зміщення центрів мас його окремих частин.

Згідно з ГОСТ 19534-80 розрізняють три основні види невірноваженості як

різні зміщення головної центральної осі інерції тіла (ГЦВІ) з осі обертання (ВО). Схематично вони зображені на рис. 6.16.

Статичною нерівноваженістю (рис. 6.16.а) є тоді коли ГЦВІ зміщена з ВО на величину ρ , але паралельна їй. Центр мас – центр ваги (ЦВ) тіла – завжди розміщений на ГЦВІ. У разі обертання, такого ротора виникає відцентрова інерційна сила $P_{ин}$. Основні характеристики такої нерівноваженості

$$\rho \neq 0; \alpha = 0; P_{ин} \neq 0; M_{ин} = 0,$$

де ρ - величина зміщення ЦВ з ВО; α - кут нахилу ГЦВІ відносно ВО; $P_{ин}$ - інерційна сила; $M_{ин}$ - інерційний момент від відцентрових сил.

Моментна нерівноваженість (рис. 6.16, б) є тоді, коли ГЦВІ не збігаються з ВО за рахунок нахилу на кут α , але ЦВ розміщений на осі обертання. Основні характеристики такої нерівноваженості:

$$\rho = 0; \alpha \neq 0; P_{ин} = 0; M_{ин} \neq 0.$$

Динамічною нерівноваженістю (рис. 6. 16, в) є тоді, коли ГЦВІ розташована під кутом α до ВО, а ЦВ зміщено з осі обертання на величину ρ . Основні характеристики динамічної нерівноваженості:

$$\rho \neq 0; \alpha \neq 0; P_{ин} \neq 0; M_{ин} \neq 0.$$

Останній випадок є загальним і основним різновидом дисбалансу в практиці.

Інерційна відцентрова сила $P_{ин}$ від зміщення центра мас на величину ρ є:

$$P_{ин} = m \Omega^2 \rho,$$

де m – маса ротора, Ω – кутова частота обертання ротора, рад/с.

Але це наближена оцінка сил. У практиці майже всі обертові елементи приладів є складними збірними вузлами, де в разі обертання виникають крім

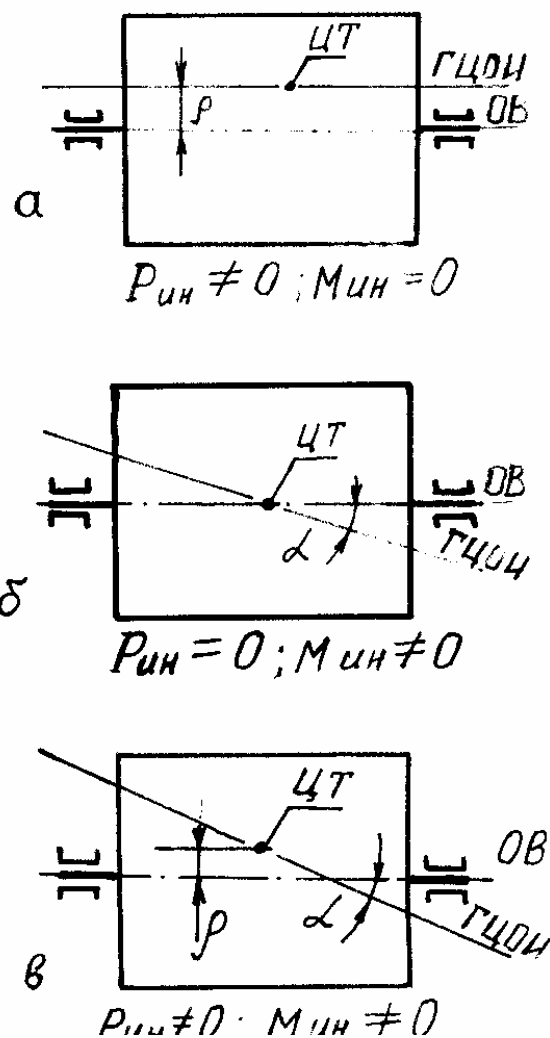


Рис.6.16. Схеми різних видів незрівноваженості ротора:
а – статична; б – моментна;
в - динамічна

основної сили безліч збуджуючих інерційних сил та інерційних моментів різної величини, що спотворюють чітку картину наведених щойно схем. Усі ці сили в підсумку дадуть сумарний вектор інерційних сил. Якщо всю систему цих сил розглядати в осях координат з центром на осі обертання ротора, то головний вектор відцентрових інерційних сил від дисбалансу можна подати у вигляді алгебраїчної суми

$$P_{in} = m\Omega^2 \rho \sin \Omega \tau + \sum^n C_i \cos(i\Omega \tau + \varphi_i) \quad (6.13)$$

(перший доданок – це головна гармоніка коливань, які виникають в опорах ротора, від зміщення спільного центра його мас з ВО, а решта членів суми – це гармоніки вищого порядку від дії інших n частинних інерційних сил ; вони розміщуються за послідовними номерами i за по рядком зменшення i характеризується силовими коефіцієнтами C_i та фазовими зсувами φ_i відносно основної гармоніки; τ – розглядуваний поточний час.

Із (6. 13) випливає, що сили нижчих порядків малості спотворюватимуть чисто гармонічні коливання від першого доданку.

Головний інерційний момент M_{in} відцентрових сил, який виникає в роторі за нахилу ГЦВІ до ВО відносно системи координат описують виразом:

$$M_{in} = \Omega^2 \sqrt{I_{zx}^2 + I_{yx}^2} \quad (6.14)$$

де I_{zx} , I_{yx} – відцентрові моменти інерції в площинах координат ZOX і YOX.

Приклад. Визначити інерційну силу, яка виникає у неврівноваженому роторі масою 0,5 кг (вагою 5Н), за двох режимів роботи : за початкової швидкості обертання з коловою частотою 1000 об/хв та максимальної швидкості 10000 об/хв. Величина зміщення ЦМ ротора з осі обертання дорівнює 20 мкм., тобто $\rho=2 \cdot 10^{-5}$ м.

1-й режим: $\Omega = \pi \cdot n / 30 = 3.14 \cdot 1000 / 30 = 104.6 \text{ рад/с}$;

$$P_{in} = m \cdot \Omega^2 \cdot \rho = 5 \cdot 104.6^2 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 1.094 \text{ Н}$$

2-й режим: $\Omega = 3.14 \cdot 10000 / 30 = 1046 \text{ рад/с}$;

$$P_{in} = m \cdot \Omega^2 \cdot \rho = 5 \cdot 1046^2 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 109.4 \text{ Н}$$

Як випливає з прикладу, інерційна сила вектора неврівноваженості різко зростає в разі збільшення швидкості обертання і може порушити нормальну роботу

приладу. Тому в приладобудуванні майже всі ротори балансуються.

6. 3. 2. Балансування елементів приладів

На виробництві виконують два різновиди зрівноваження високочутливих елементів приладів, які обертаються чи повертаються: статичне та динамічне балансування.

Статичне балансування полягає в перерозподілі мас елемента з метою суміщення його центра ваги з віссю обертання для усунення основної відцентрової інерційної сили. Статичним воно називається тому, що виконується на роторі 1, який повільно самостійно повертається і встановлений своїми осями на гострі ножі балансувального пристосування 2 на ножах під дією статичного моменту (рис. 6.17).

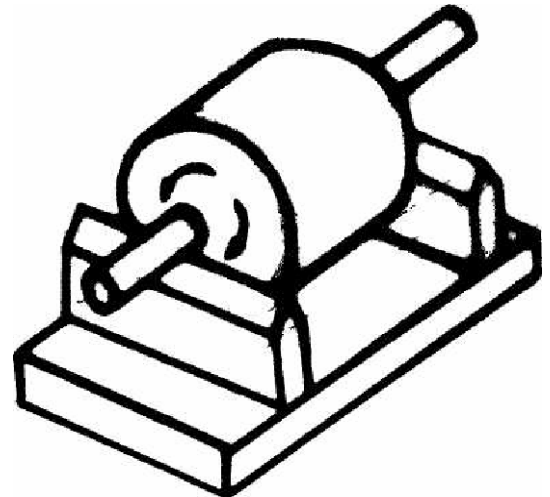


Рис. 6. 17. Загальний вигляд статичного балансувального

За наявності зміщення ЦВ ротор 1 починає прокочуватися на ножах під дією статичного моменту $M_{ст}$ (рис. 6. 18, а), прагнучи набрати положення, коли ЦВ опиниться в нижньому положенні (рис. 6. 18, б).

Статичний момент

$$M_{ст} = G\rho \cos \omega, \quad (6. 15)$$

де G – сила ваги ротора; ρ - величина зміщення ЦВ.

Частина ротора, яка опинилась знизу називається "важким місцем" (ВМ), а протилежна їй - "легким місцем" (ЛМ). Додаючи шматочки пластиліну 3 до ЛМ, домагаються вільного положення ротора на ножах і тим визначають величину дебалансу та місце, де потрібно додати ваги або видалити її з протилежного боку. Балансування виконують добавлянням додаткової маси на ЛМ (напаювання олова, наклеювання тощо) або видаленням зайвої маси з ВМ (свердлінням, спилюванням тощо). Іноді для такого балансування в конструкції вузла передбачаються спеціальні балансувальні гвинти-тягарці. Переміщуючи ці тягарці, переміщуємо ЦМ при $\rho \rightarrow 0$ і $P_{ін} \rightarrow 0$.

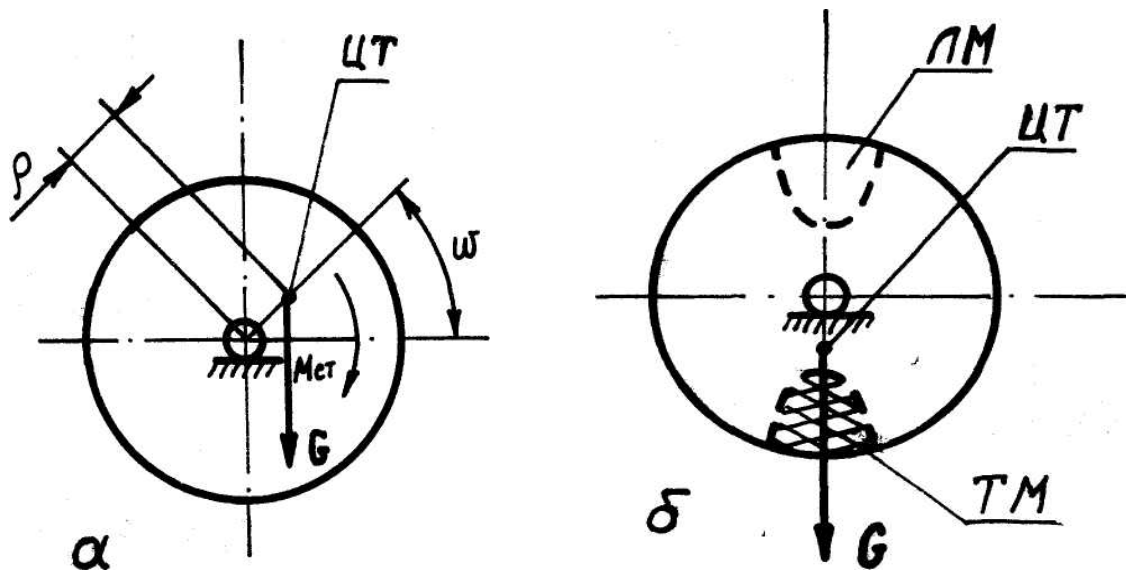


Рис.6.18. Схема статистичного балансування:
а – дії статичного моменту; б – за нижнього положення ротора ЦВ на ножах

Статичне балансування завжди виконується в рухомих рамках гальваноприладів, гіроскопічних рамках гірокілець, вузлах карданного підвісу гіроскопічних приладів та ін. Такому самому балансуванню піддають ротори електромашин, сельсинів, обертових трансформаторів, роторів гіроскопів тощо. Оскільки таке балансування неточне через наявність тертя на опорних ножах та їх пружної деформації, то швидкообертові ротори піддають потім динамічному балансуванню.

Динамічне балансування виконується в динаміці на швидкообертовому роторі на спеціальних балансувальних машинах. При цьому ротор повністю врівноважується, тобто усуваються всі збурюючі інерційні сили та інерційний момент.

Такий момент виникає в обертовому роторі завжди, коли маси його окремих частин розміщені по довжині несиметрично відносно осі обертання. Це можна наочно простежити на прикладі моментного дисбалансу через перекося ротора відносно осі обертання, схему виникнення моменту на якому показано на рис. 6.19. У зоні між січними площинами 1 та 11 спостерігається повна симетрія мас, а ліворуч і праворуч від цієї зони розташовані ділянки А та Б, які не мають симетричних відповідних мас. Центри ваги цих ділянок зміщені з осі, що зумовлює нахил ГЦВІ на кут α . При обертанні ротора виникають інерційні сили $Q_{\text{ін}}$ ділянок А та Б, які утворюють пару сил з плечем l . Момент, який виник, діє в площині осі обертання і дорівнює

$$M_{in} = Q_{in} l \quad (6.16)$$

У практиці звичайно в динамічно балансованому роторі завжди є статична невірноваженість. Тому за такого балансування доводиться усувати як дію інерційного моменту, так і залишкову інерційну силу, які, підсумовуючись, викликають

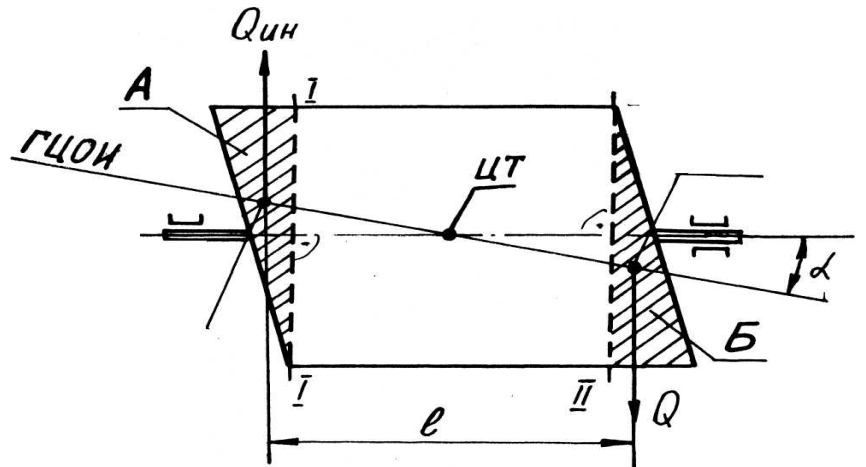


Рис. 6.19. Схема виникнення інерційного моменту в роторі

результируючі реакції в опорах R_1 та R_2 (рис. 6.20). Ці реакції можна дістати зведенням моменту та сили до одного моменту в площинах наведеного моменту Z_1Y_1 і Z_2Y_2 , які вибирають у місцях розміщення опор. Реакції викликають інерційний момент зведення

$$M_{in.зв.} = RL, \quad (6.17)$$

де L – відстань між опорами.

Реакції від загального дебалансу R_1 і R_2 звичайно бувають різними не збігається також напрям їх дій.

Реакція визначає дебаланс, а напрям показує розміщення ВМ у даній частині ротора.

За допомогою сучасних балансувальних машин визначають сили, які виникають в опорах, та їх напрям. Дебаланс усувають видаленням зайвих мас в ділянках А та Б за допомогою свердління, припилювання, випалювання матеріалів або

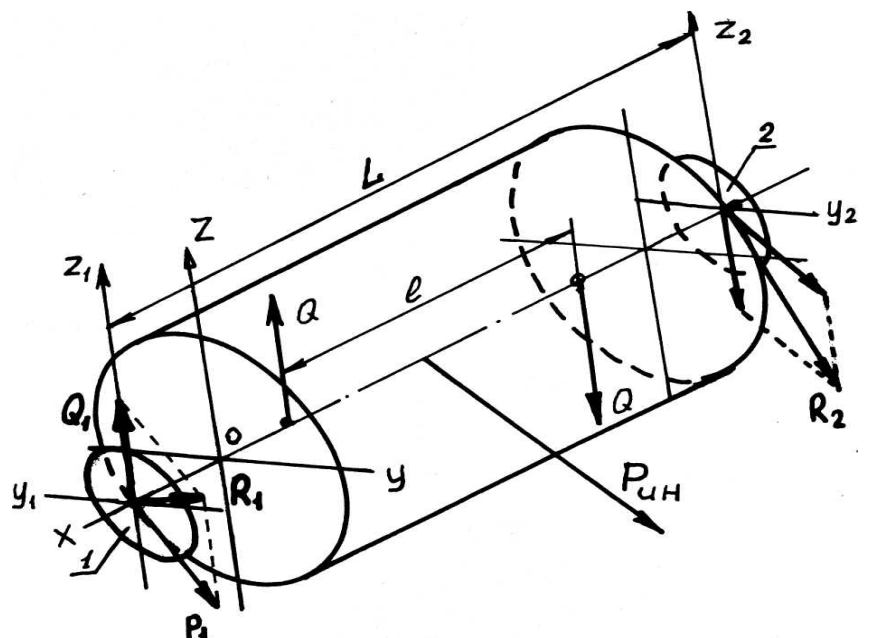


Рис.6.20. Схема для визначення реакції від дії інерційного моменту та інерційної сили

додавання симетричних мас паянням, наварюванням тощо. Можна також

застосувати спеціальні переміщувачі тягарці-гвинти.

Динамічне балансування має виконуватись із високим ступенем точності. У сучасних приладах часто використовуються високошвидкісні ротори і наявність навіть незначного залишкового дебалансу може погіршити роботу приладу. Це особливо стосується роторів гіроскопічних приладів і систем, робоча частота обертання яких часто досягає 400...500 об/с.

На рис. 6.21 показано схему появи шкідливого прецесійного моменту гіроскопа через залишковий неврівноважений збурюючий момент $M_{зб}$ після балансування. Через прагнення вектора головного кінематичного моменту ротора H суміститися з вектором $M_{зб}$ виникає прецесійний момент, який відводить вісь гіроскопа в дрейф з кутовою швидкістю

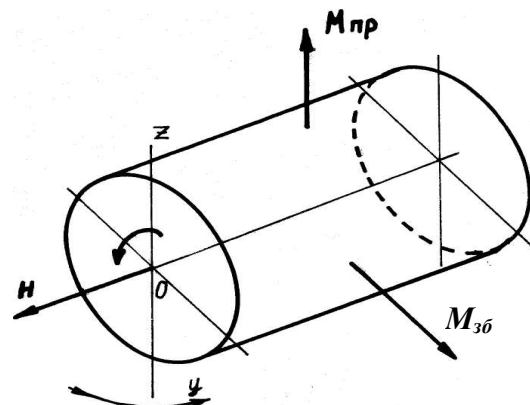


Рис.6.21. Схема виникнення прецесійного моменту гіроскопа через збурюючий момент

$\omega_{пр} = M_{пр} / H$. Оскільки $M_{пр} = M_{зб} = R L$, то остаточно маємо

$$\omega_{пр} = \frac{RL}{H} = \frac{RL}{I\Omega}, \quad (6.18)$$

де I - інерційний момент ротора ; Ω - швидкість обертання ротора.

Чим точніше виконано балансування гіромотора, тим точніше працює прилад. У зв'язку з цим під час проведення операції балансування ротора велике значення має точність методу видалення неврівноваженої маси. Найчастіше для цього застосовується висвердлювання матеріалу ротора на певну глибину. При цьому маса, яка видаляється, відповідає певному інерційному неврівноваженому моменту $M_{ин}$. Потрібна глибина свердління h визначається з характеристик свердління та матеріалу ротора. Вага матеріалу, який видаляється,

$$G = (M_{ин} / r)(\pi \cdot d^2 / 4h \cdot \gamma),$$

звідки глибина свердління, мм,

$$h = M_{ин} / r \cdot \gamma = 4 / \pi \cdot d^2, \quad (6.19)$$

де $M_{ин}$ – момент неврівноваженості, г·см ; r – радіус ротора, в якому виконується свердління, см ; γ - питома вага матеріалу г/см³ ; d – діаметр свердла, см.

Глибину свердління потрібно витримувати з високою точністю.

Приклад. Визначити, з якою точністю потрібно виконати свердління, щоб зрівноважити ротор гіромотора ГМ-4, якщо потрібна точність балансування має забезпечуватись у межах $\Delta M_{in} = 0 \dots 0.001$ г·см. Радіус ротора $r = 2.5$ см ; питома вага латуні $\gamma = 8$ г/см³. Допустиму похибку балансування від неточності візьмемо такою, що дорівнює $0.5 \cdot \Delta M_{in}$, а інша частина йде на похибку визначення реакції машиною. Якщо діаметр свердла $d = 0.2$ см, похибка свердління з (6. 19)

$$\Delta h = \frac{0,5 \Delta M_{in}}{r \gamma} \frac{4}{\pi d^2} = \frac{0,5 \cdot 0,001 \cdot 4}{2,5 \cdot 8 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2} = 0,0075 \text{ см}$$

Із результату випливає, що потрібне надзвичайно точне свердління. Тому процедуру свердління та вимірювання результату зрівноваження часто багаторазово повторюють, застосовуючи метод наближення.

6.3.3 Балансувальні машини

Для точного балансування в приладобудуванні застосовують різні балансувальні машини. Найбільшого поширення набули точні рамкові та електронні машини динамічного балансування. У процесі операції балансування на цих машинах на основі вимірювання реакцій від дії інерційних сил можна визначити величину невірноваженості ротора та область розташування важкого (ВМ) або легкого (ЛМ) місця. Балансувальні машини передбачають почергове визначення реакцій в кожній площині зведення та усунення дебалансу в кожній із цих площин. Через функціональний взаємозв'язок динамічних характеристик сторін ротора, які балансуються, повне зрівноваження однієї сторони може порушити зрівноваженість іншої на якусь частку колишнього спільного дебалансу. Тому процедуру балансування кожної із сторін повторюють звичайно багато разів із спільним зменшенням рівня невірноваженості до потрібної межі.

Найпростішими за конструкцією та експлуатацією є рамкові балансувальні машини. Схему принципу дії найпростішої рамкової машини показано на рис. 6. 22. Ротор 1, який балансується, встановлюється своїми осями на легку чутливу рамку 2, асиметрично підвішену на шарнірах 3. Довге плече рамки утримується пружинами 4. При обертанні ротора невірноваженість ротора, що є в ньому, спричинює

вібрацію, яка розгойдує рамку. На рамці закріплено дзеркальце 5, що відбиває промінь світла від джерела 6, який падає на екран 7 у вигляді розгорнутого в смугу відблиску. Змінюючи масу і місце пластилінового тягарця 8, домагаються усунення дебалансу та коливання плеча рамки 3, що визначить величину невірноваженості та ЛМ даної частини ротора.

Після видалення матеріалу ротора свердлінням, пропорційного до маси пластиліну, перевіряють якість операції. Коли один бік ротора повністю збалансовано, його повертають іншим боком і процедура зрівноважування продовжується.

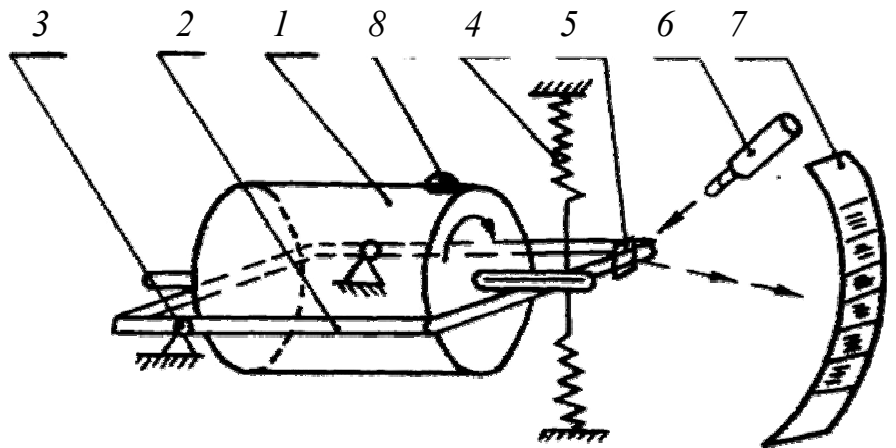


Рис. 6.22. Схема дії рамкової балансувальної машини

Сьогодні набули поширення різні балансувальні автомати, схему одного з яких зображено на рис. 6. 23. Коливання довгого плеча рамки 2 від дебалансу ротора 1 сприймається індуктивним датчиком 5. Сигнал від нього через підсилювач резонансного типу 6 подається на компаратор-аналізатор 7, де порівнюється із сигналом від задаючого пристрою – регулятора 8, а від аналізатора йде на керуючий блок 9. Він сканує сигнали відповідної швидкості обертання ротора частоти на генератор 10 (звичайно блок конденсаторів), який живить робочу головку 11. Така головка може бути електроіскровим або лазерним пристроєм. У момент перебігання під нею частини ВМ ротора генерується потужний імпульс розряду електродуги або лазерного променя, які видаляють частину металу з даного місця. Після балансування одного боку та зникнення сигналу на компараторі 7 правий ланцюг системи вимикається, шарніри 3 рамки автоматично переміщуються праворуч, подовжуючи ліве плече рамки. Потім включається в роботу лівий ланцюг системи. Така процедура балансування випалюванням і зміни плечей повторюється багаторазово до остаточного зрівноваження ротора.

Рамкові балансувальні машини працюють на малих швидкостях обертання ротора в межах 1500...3000 об/хв. Це зменшує їх чутливість і роздільну здатність

відносно точності зрівноваження, яка досягає на них 20...30 мг·см/кг.

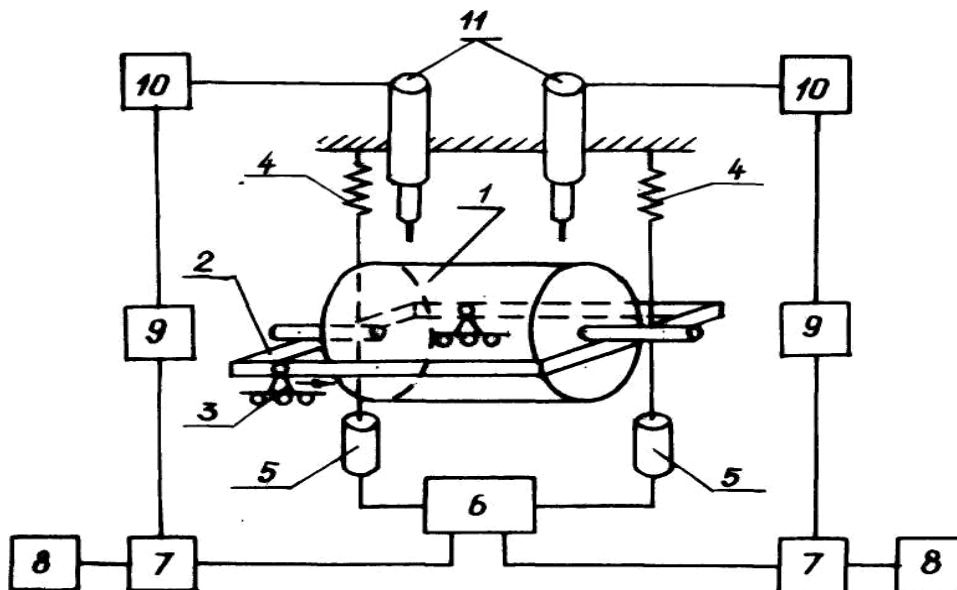


Рис. 6.23. Схема автоматичної рамкової балансувальної машини-автомата

Точнішими є електронні балансувальні машини, оснащені високочутливими електронними блоками та датчиками, які працюють на великих швидкостях обертання ротора з частотою 15000...20000 об/хв, що значно збільшує їх чутливість до інерційних сил. На рис. 6. 24 показано спрощену блок-схему такої машини. Ротор 6, який балансується встановлюють на чутливі платформи-каретки, коливання яких уловлюється індукційними датчиками 1, що працюють по чергові. Підсилений у блоці 2 сигнал подається через модулятори 3 і 4 на пластини кругової розгортки 7 електронно-променевої трубки, причому на одну з пар сигнал надходить із зсувом на $\pi/2$ через фазозсувний блок 5 затримки. На екрані трубки сигнал розгортається в коло, радіус R якого пропорційний до дебалансу. Важке місце визначається координатним методом. Для цього на ротор темною фарбою наносять смугу, яка під час обертання ротора затемнює промінь світла від джерела світла 8. Це вловлюється фотоелементом 9, сигнал з якого через підсилювач 10 надходить до керуючої сітки трубки у вигляді зменшення замикаючої напруги і на екрані висвічується світна точка 11 на відстані R від центра. Ця точка показує положення темної позначки на екрані. У машинах важке місце звичайно налагоджують на півосі A координат. Кут φ між віссю (ординатою) та світною точкою відповідає розташуванню ВМ ротора відносно нанесеної темної позначки. Видаляючи частину металу ротора,

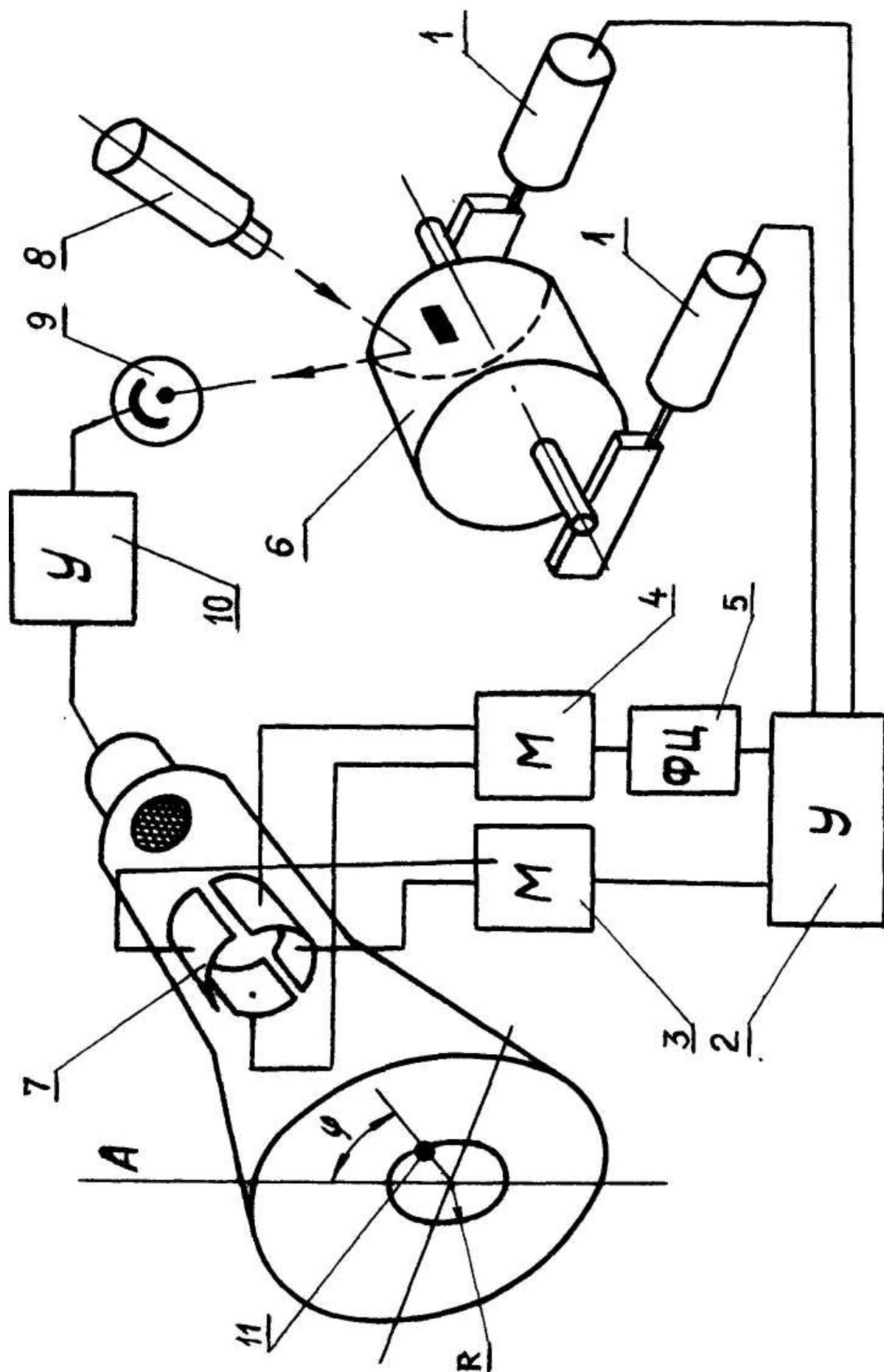


Рис. 6.24. Блок-схема электронной балансувальної машини.

пропорційно до величини радіуса R на відкладеному на роторі куті φ від темної позначки ,виконують балансування. Такі машини дають змогу збалансувати ротор до $5...10$ мг·см залишкового дебалансу. На базі такої схеми розроблюються електронні балансувальні машини-автомати.

6.3.4 Статичне балансування поплавкових гіропристроїв

Щоб зменшити тертя в опорах і підвищити чутливість гіроскопічних систем, внутрішню рамку координатного підвісу з ротором виконують у вигляді герметичного корпуса-поплавка, який заповнюється сумішшю водню з гелієм і вільно плаває всередині спеціальної важкої рідини. Це дає змогу зняти навантаження з кернових опор поплавка й тим самим забезпечити хорошу чутливість гіроскопа за незначних еволюцій рухомого об'єкта, на якому встановлюють такі системи. До елементів, які швидко обертаються та повертаються, таких пристроїв ставляться аналогічні вимоги щодо зрівноваженості, що й для всіх роторів. Тому всі елементи поплавкового гіровузла попередньо балансуються за описаними раніше методами.

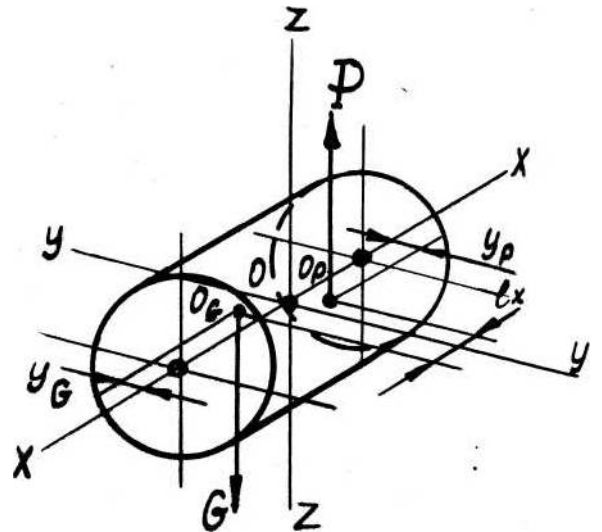


Рис. 6.25. Схема дії сили на занурений поплавковий гіровузол

До остаточно зібраного корпуса з гіроротором додатково висувають такі вимоги:

- вільна плавучість, тобто щоб весь вузол-поплавок не потопав і не спливав, а перебував у особливій рідині у вільному стані;
- підвищена статична зрівноваженість усього елемента для кренів та диференту (нахилу осі вузла по горизонту та його обертання).

На занурений у рідину поплавковий гіровузол діють дві сили (рис. 6.25): ваги G із центром мас у точці O_g та виштовхування рідини P із центром прикладання O_p .

Для остаточного зрівноваження гіропоплавок у рідині потрібно, щоб $G=P$, а точки O_g та O_p збігались.

Через похибки виготовлення, які є завжди, сили ваги та тиск рідини не збігаються ($G \neq P$), не збігаються також центри їх прикладання (точки O_g і O_p), що порушує вільну плавучість, викликає нахил осі вузла та його провертання навколо цієї осі.

У разі зрівноваження вузла його центром беруть точку O_p , тобто центр тиску рідини вважається в цьому випадку відправною точкою.

Щоб остаточно зрівноважити такий елемент, потрібно виконати три операції:

1. Зрівноважування за вільною плавучістю, коли регулюванням ваги поплавка дістають усунення різниці. $\Delta P = (P - G)$.
2. Зрівноважування за диферентом з усуненням кута нахилу осі $X - X$ до горизонту за рахунок зміщення центра мас вузла O_G за O_p , коли $l_x \rightarrow 0$
3. Балансування за креном від поворотності поплавка навколо осі $X - X$ за рахунок усунення Y_G в разі збігання точок O_G за O_p .

Зрівноважування плавучості звичайно виконується за допомогою спеціальних високочутливих вимірювальних головок 1 (рис.6.26). Гіровузол 10, розміщений в акваріум з важкою рідиною 8 в разі порушення плавучості, тобто за наявності ΔP , діє за своїми осями на жорсткі тяги 7 головок, створюючи на них малі зусилля q_1 та q_2 . Ці зусилля через важелі 6 передаються на скручені гвинтом (лопаттю) тонкі бронзово-бериллові стрічки 2. Навіть за незначних зусиль вони схильні до закручування або розкручування залежно від напрямку сили q_i . На стрічках розміщують рухомі сектори круглих шкал 3, а їх зміщення ("+" або "-") фіксуються нерухомим індексом

на склі 4.

Добавляючи або

знімаючи тягарці-

шайби під гвинтами

9, домагаються

вільної плавучості

поплавка. Плаву-

чість підсумовується

за показом двох

головок при $q < \Delta G$;

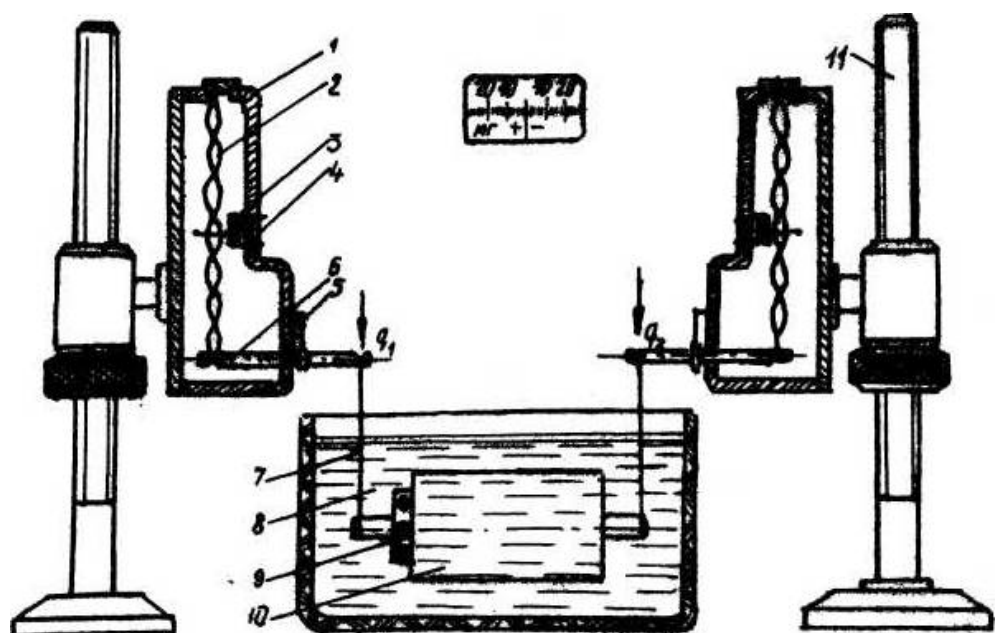


Рис. 6.26. Схема зрівноважування плавучості поплавка

$$q=q_1+q_2,$$

де ΔG - допуск на плавучість.

Балансування диференту виконується в аналогічному акваріумі з горизонтальними лініями-штрихами на стінках (рис 6.27). За наявності у вузлі зміщення O_G на величину l_x його вісь $X - X$ нахилиться до горизонту на кут α . Для зрівноважування змінюють місцями шайби-тягарці під гвинтами 9 за важчого кінця на легший. При цьому можна використовувати такі самі вимірювальні головки І (див. Рис. 6.25). Тоді диферент, який виник,

$$D=(q_1-q_2)/2$$

Зміною місця тягарців домагаються щоб $D < \Delta D$, де ΔD - допуск на диферент. Балансування за креном від поворотності поплавка навколо осі $X - X$ виконується вгвинчуванням або вигвинчування регулювальних гвинтів 1-4 (рис. 6.28), спеціально передбачених для такого регулювання на гіровузлі. При цьому домагаються вільного положення поплавка в рідині.

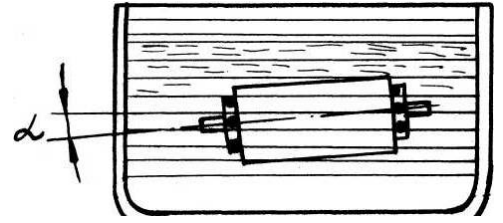


Рис. 6.27. Схема балансування диференту поплавка

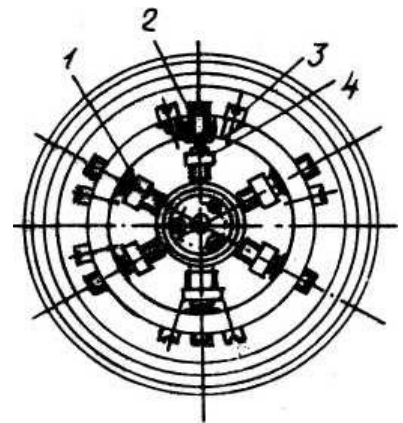


Рис. 6.28. схема розміщення регулювальних гвинтів на поплавку під час балансування крену

Глава 7. ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ

7.1. Технологія намотувальних робіт

7.1.1. Різновиди обмоток та вимоги до них

Вузли приладів, які мають струмопровідні витки проводу, називаються обмотками. Вони широко застосовуються в електроперетворюючих пристроях приладів і за призначенням поділяються так:

- індукційні обмотки трансформаторів, індукційних і індуктивних датчиків, дроселів, фільтрів та ін.;
- електромагніт обмотки магнітних реле, електромагнітних двигунів, магнітних підсилювачів і підвісів, магнітні лінзи тощо;
- резисторні обмотки різного ґатунку потенціометрів, реостатів, шунтів тощо;
- пазові обмотки для статорів і роторів різних електромашин;
- обмотки нагрівання для перетворення електричної енергії на теплову.

Конструкція обмоток визначається їх призначенням, вихідними функціональними характеристиками та формою застосовуваного каркасу. Кожна обмотка містить певну кількість витків проводу, намотаного на каркас із діелектрика чи магнітопроводу, виводи-контакти, ізоляційні матеріали, певне покриття, тощо. За конструктивно-технологічними ознаками обмотки поділяють на такі основні групи:

1. Відкриті обмотки котушкового типу. Вони бувають одношарові рядкові (рис. 7.1, а) зі щільною укладкою проводу або з їх кроковою (рис. 7.1, б) чи функціональної змінною (рис. 7.1, в) розкладкою, де крок укладки проводу змінюється за певним функціональним законом.

Багатошарові обмотки можуть бути рядковими зі щільною укладкою проводу (рис. 7.1, г), розкладкою за секціями - секційні обмотки (рис. 7.1, д) або просто в

навал без особливого порядку (рис. 7.1, е); біфілярні з укладкою паралельно двох рівних проводів на круглий каркас (рис 7.1,з). Часто в електросхемах приладів зустрічається індуктивні котушки з намоткою навхрест (рис 7.1, ж) та ін.

2. Тороїдні (або кільцеві) обмотки, які намотуються на кільцевий каркас широко застосовуються для кільцевих потенціометрів. Такі обмотки бувають з певною кроковою розкладкою (рис 7.1, з) або з укладкою в щільний ряд (рис. 7.1, і). Для кільцевих автотрансформаторів застосовується багатошарова шахова розкладка проводу.

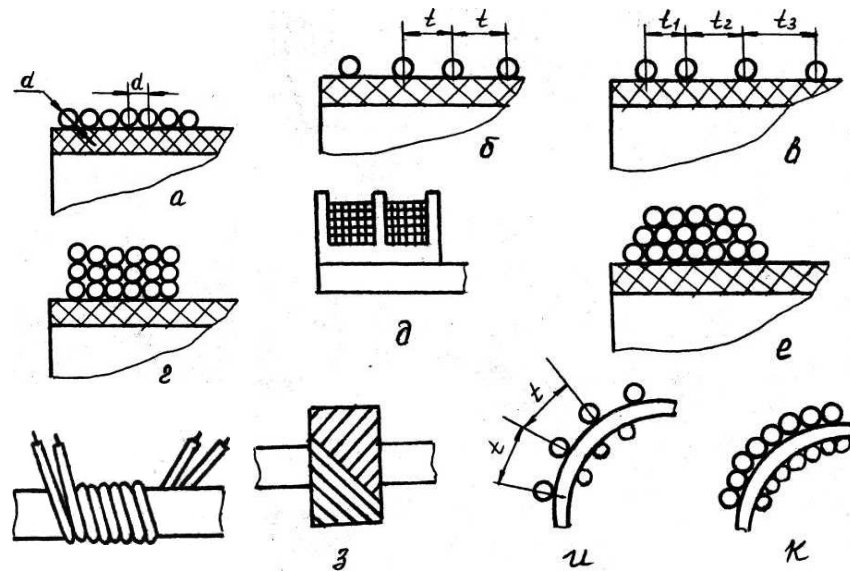


Рис. 7.1. Схеми різновидів обмоток: а – одношарові рядкові; б – рядкові з кроковою розкладкою; в – рядкові з функціональною розкладкою; г – багатошарова рядкова; д – секційне; е – багатошарова в навал; з – біфілярна обмотка; ж – обмотка навхрест; з – тороїдна (кільцева) обмотка з кроковою розкладкою; и – кільцева рядкова обмотка.

3. Пазові обмотки (рис. 7.2) з укладкою проводу 2 в пази певної форми в пакети магнітопроводу 1. Іноді такі обмотки намотуються на несправжні рознімні технологічні каркаси, а в процесі складання після відповідної ізоляції вкладаються в пази.

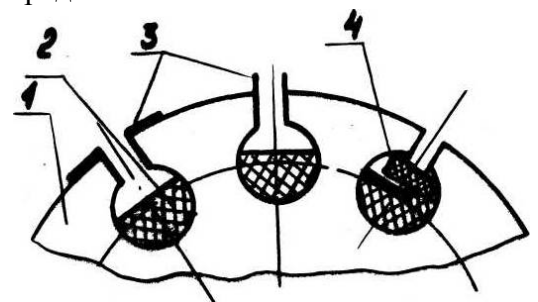


Рис.7.2. Схема пазової обмотки

4. Безкаркасні обмотки з попереднім формоутворенням і намоткою на технологічні рознімні оправки-каркаси, де дотримується необхідна конструкція та задані характеристики. Це можуть бути обмотки-спіралі для одержання обмоток нагріву, або обмотки багатовиткові в одне кільце з шаховою розкладкою проводу для дроселів і магнітних лінз.

Жорсткість конструкції останнім обмоткам надає багатошарова ізоляція та

просочення в полімерах.

Незважаючи на велику конструктивну різноманітність обмоток і їх функціональне призначення до них висувається певні загальні технологічні вимоги:

- строго визначена кількість витків n проводу даного перерізу d та матеріалу - ρ ;
- певний омичний загальний R_{Σ} або поелементний опір: $R_1, R_2 \dots$;
- намотувати провід потрібно з певною розкладкою витків по каркасу-кроком t ;
- міцна ізоляція, яка б не припускала їх короткого замикання;
- задана стійкість до впливу умов зовнішнього середовища;
- визначена форма і розміри обмотки.

Усі ці вимоги із значенням конкретних величин зумовлюються технічними умовами на вибір і обов'язково підлягають вихідному контролю за технологічним процесом виготовлення.

7.1.2. Проводи, які застосовуються для обмоток.

Для виготовлення обмоток у приладобудуванні застосовують різні проводи в основному круглого перерізу діаметром 0,02... 2,5 мм. Іноді застосовується провід прямокутного перерізу або мікропровід з перерізом 10...20 мкм. У більшості випадків використовується мідний провід із різною ізоляцією залежно від електричної та теплової міцності. Для резисторних і електромагнітних обмоток застосовується проводи з матеріалів із підвищеним електричним опором.

Найбільшого поширення набули такі проводи:

ПЕЛ – провід електротехнічний, мідний, круглий, ізольований лаком на масляній основі (ГОСТ 2773-79);

ПЕВ – провід мідний, круглий, ізольований вініфлексовою емаллю ВЛ-931 підвищеної механічної міцності /ГОСТ 2773-79/;

ПЕТВ – провід мідний, круглий, емальований високоміцною ізоляцією на поліефірному лаку ПЕ-943 (ГОСТ 17708-79);

ПЕВД – провід мідний, круглий, емальований вініфлексовою емаллю з

додатковим теплостійким покриттям (ТУ 017.189-73);

ПЕЛБО – провід ПЕЛ – з додатковим бавовняно-паперовим обплетенням для підвищених напруг (ГОСТ 16507-79);

ПЕЛШО – провід ПЕЛ з додатковим шовковим обплетенням (ГОСТ 16507-79);

ПЕЛЛО – провід ПЕЛ з додатковим лавсановим обплетенням;

ПСД – провід мідний, ізолюваний двошаровим обплетенням скловолокном із підклеюванням та просочуванням кожного шару стійким до нагрівання лаком (ГОСТ 7019-79);

ПСДК – провід ПСД з просочуванням кожного шару кремнійорганічним теплостійким лаком. Такі проводи застосовують за високої напруги.

Для потенціометричних або резисторних обмоток застосовуються проводи підвищеного опору (ГОСТ 6225-79): провід емальований, константовий м'який ПЕКМ або твердий ПЕКТ; дешевий провід емальований, манганітовий, м'який ПЕММ або твердий ПЕМТ, для резисторів загального застосування.

Для обмоток нагрівання звичайно застосовується ніхромовий провід ПНХ без ізоляції; він намотується завжди спіралями без торкання витків.

У процесі виготовлення високоякісних мікрообмоток у мікроелектроніці часто застосовують спеціальні мікропроводи з благородних металів /золота, платини, срібла/ з додаванням рідкісноземельних металів.

7.1.3. Технологія намотування

Технологічний процес виготовлення обмоток, який у приладобудуванні називається намотувальними операціями, складається з кількох етапів: виготовлення каркасів, підготовка проводу, намотування обмоток, закладання виводів, ізоляція обмоток та їх контроль.

Перший етап – виготовлення каркасів обмоток. Їх конструкція та застосовуваний матеріал визначається функціональним призначенням обмотки та типом виробництва (тобто масштабом випуску виробів). Як основні матеріали широко застосовуються різні пластмаси як найтехнологічніший матеріал

діелектрика. У серійному виробництві корпуси пресують на шприц-машинах із капролактаму, хлорвінілу, фторопласту, полістиролу тощо. Металеві корпуси з алюмінієвих сплавів відливаються під тиском, а з магнітом'якого заліза – магнітопроводу – вирубуються штампуванням із стрічок і смуг. В особливих випадках їх виготовляють із кераміки методом формування, пресування та спікання в формах. В одиничному та дрібносерійному виробництвах часто застосовуються збірні каркаси з гетинаксу, електротехнічного текстоліту або електроізоляційного картону. Окремі прості елементи корпусу в цих випадках вирубуються на універсальних штампах, а потім складаються та склеюються в цілісну конструкцію.

Другий етап процесу намотування – підготовка проводу. Спочатку потрібно визначити його необхідну кількість за заданими електричними параметрами обмотки. Звичайно задається загальна або секційна обмотка з омічним опором обмотки R ; характеристики проводу та розміри обмотки: h, b – висота та ширина робочої поверхні каркасу, l_k – довжина розкладки проводу на каркасі, r – радіус переходу поверхонь ($r > 2d$); d – діаметр проводу.

Опір обмотки

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4l_b n}{\pi d^2}, \quad (7.1)$$

Де ρ – питомий опір проводу; S – площа перерізу проводу; l_b – довжина одного витка проводу; n – кількість витків проводу на обмотці.

З (7.1) потрібна кількість витків

$$n = \frac{\pi d^2 R}{4 \rho l_b}. \quad (7.2)$$

Довжина одного витка l_b визначається формою каркасу

За прямокутного перерізу каркасу

$$l_b = (2h + 2b - 1,72r) + \pi d, \quad (7.3)$$

за овалоподібного при $r = b/2$

$$l_b = 2h + 1,14b + \pi d,$$

Довжина потрібного проводу $l = l_b n$.

Потрібно додати 50...100 мм на технологічні кінці проводу, що йдуть потім на закладання. Звичайно їх зачищають від ізоляції та лудять. За необхідності

одержання точних обмоток виконується вхідний контроль проводу на заданий загальний омичний опір.

Третій етап – намотування обмоток – полягає в безпосередньому формоутворенні обмотки на верстаті із забезпеченням електричних і геометричних необхідних характеристик. Попередньо треба налагодити верстат на потрібний режим намотування. Сюди входять такі параметри:

1. Натяг проводу за розкладки. Остання є силою, яка розтягує провід між котушкою змотування, яку спеціально пригальмовують, і обертовим каркасом. Натяг проводу в процесі намотування є основним технологічним параметром, який визначає якість і продуктивність намотувального процесу. За малого натягу продуктивність зростає, але точність обмоток спаде через погане формоутворення, одержання зазорів і зміни довжини витків. Витрати проводу при цьому збільшуються. За надмірного натягу проводів видовжується, що призводить до порушення ізоляції витків і зростання загального омичного опору за тієї самої кількості витків. Тому попередньо визначається потрібна сила натягу проводу – максимальна та мінімальна, за якою налагоджується вільне повертання котушки змотування за рахунок підсилення фрикційного гальма. Така сила визначається або за спеціальною методикою, або береться з таблиць.

2. Швидкість намотування як середня лінійна швидкість руху проводу в точці його набігання на каркас, яка визначає частоту обертання шпинделя або човника в хвилину: $n_{\text{wn}} = 1000v/\pi D$, де V – швидкість намотування, яку вибирають з нормативів; D – діаметр каркасу.

3. Подача проводу, що є швидкістю переміщення проводу вздовж поверхні каркасу, який намотують за один його оберт (або оберт човника); вона дорівнює кроку намотування який налагоджується на верстаті.

До налагоджування верстату належить також установлення на лічильнику потрібної кількості витків, установлення каркасу, його кріплення та кріплення початкового проводу.

Четвертий етап – закладання виводів проводу для забезпечення надійного електричного контакту. Для цього кінці проводу зачищаються від ізоляції механічним, термічним, або хімічним методом, лудяться паяльником, з'єднуються зі

спеціальними проводами – виводами в хлорвініловій ізоляції паянням та ізолюються кембриками – хлорвініловими трубочками.

П'ятий етап – ізоляція обмотки – призначений для забезпечення електричної та механічної міцності обмоток, надійної їх роботи за зміни умов зовнішнього середовища. При цьому або елемент обмотується конденсаторним папером (ГОСТ 1908-79) із загальним приклеюванням нітроклеєм, або виконується загальне просочування гарячим зануренням або під тиском із заповненням усіх пор ізоляційним лаком або компаундом на основі бакелітового клею з азбестовою пудрою. Після просушування готової обмотки зачищаються виводи. Завершується етап покриття обмоток лаками з метою захисту від вологи, пилу, плісняви тощо; маркуються параметри обмоток.

Контролюють обмотки для того, щоб визначити якість основних вихідних параметрів виробу: електричної міцності ізоляції, перевірки щодо відсутності замкнених витків і загального(або секційного) омичного опору.

Процес намотування завжди поєднаний з рядом виробничих похибок, що призводить до певних відхилень вихідних параметрів обмоток. Так, застосований для намотування провід завжди має деякий розкид хімічного складу, що безпосередньо позначається на питомому опорі. Діаметр проводу також завжди має певні допустимі відхилення щодо виготовлення.

Найбільшу похибку дає сам процес намотування. Так, навіть незначне коливання сили натягу проводу обмотки, її наближене встановлення на верстаті /оскільки на них відсутні динамометричні пристрої/ призводять до похибки одержання певної довжини витка Δl_b , помилок і зміщень розкладки проводу по каркасу. Навіть чітко визначену кількість витків на обмотці часто важко одержати через наявність зміщення каркасу відносно шпинделя верстату або човника та малоточної фіксації початку проводу. Внаслідок цього на виробництві в процесі виготовлення обмоток з кількістю витків понад 20 приймається, що ця кількість має похибку ± 1 виток, якщо за основу беруть покази лічильника.

Аналізуючи вираз (7.1) (визначальний загальний вихідний омичний опір обмотки), можна зробити висновок, що всі величини, які входять до нього, мають відхилення, оскільки первинні похибки

$$\rho \rightarrow \Delta \rho; l_b \rightarrow \Delta l_b; n \rightarrow \Delta n; d \rightarrow \Delta d.$$

Тоді згідно з методикою визначення похибки вихідного параметра функціонального пристрою за параметричною взаємозамінністю відхилення омичного опору обмотки можна визначити за виразом

$$\Delta R = \frac{\partial R}{\partial \rho} \Delta \rho + \frac{\partial R}{\partial l_B} \Delta l_B + \frac{\partial R}{\partial n} \Delta n + \frac{\partial R}{\partial d} \Delta d. \quad (7.5)$$

Під час перевірки даного параметра звичайним тестером опору значення ΔR має не перевищувати встановлений за технічними умовами допуск.

Приклад. Визначати можливі відхилення опору обмотки R за таких вхідних величин і допусків на них: $d=0,3$ мм, $\delta_d=-0,02$ мм, провідний мідний; $\rho=0,017$ Ом*мм²/м; $\delta_\rho=-0.001$ Ом*мм²/м; $l_B=10$ мм; $\delta_B=0,2$ мм; $n=100$; $\delta_n=\pm I$.

Згідно з другим методом визначення параметричної точності – методом частинних відношень –

$$(BB)_R = R \left(\frac{(BB)_B}{l_B} + \alpha_d \frac{(HB)_d}{d} + \frac{(BB)_n}{n} \right);$$

$$(HB)_R = R \left(\frac{(HB)_\rho}{\rho} + \frac{(HB)_n}{n} \right).$$

При цьому враховано, що $\alpha_d=-2$; $\delta_d=-0.02$ що дає у підсумку додатне відхилення $+\Delta R$.

Згідно з (7.1), враховуючи, що l_B виражається в метрах, номінальне значення опору обмотки

$$R = \frac{4\rho l_B n}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0.017 \cdot 0.01 \cdot 100}{3.14 \cdot 0.3^2} = 0.24 [\text{Ом}]$$

Граничні відхилення:

$$(BB)_R = 0.24 \left(\frac{0.2}{10} + 2 \cdot \frac{0.02}{0.3} + \frac{I}{100} \right) = +0.039 [\text{Ом}];$$

$$(HB)_R = 0.24 \left(-\frac{0.001}{0.017} - \frac{I}{100} \right) = -0.016 [\text{Ом}].$$

Загальна величина похибки опору обмотки $\Delta R = 0.055 \text{ Ом}$, тобто становить майже четверту частину номінального значення. Для точних обмоток такий результат непридатний.

7.1.4. Намотувальні верстати

Як було зазначено раніше, обмотки намотують на певних намотувальних верстатах. При цьому верстати класифікують в основному за трьома різновидами: рядкового намотування; кільцевого тороїдного намотування; пазового намотування. Іноді зустрічається також спеціальні намотувальні верстати.

На рис. 7.3 показано кінематичну схему рядкового намотувального універсального верстата для одержання відкритих котушкових обмоток із потрібним кроком. Каркас обмотки 6 встановлюється та закріплюється на шпинделі верстата 8. Привод верстата - синхронний електродвигун 10, який через зміни шківів II та систему шестерень обертає шпиндель верстата. Важіль 9 за допомогою фрикційної

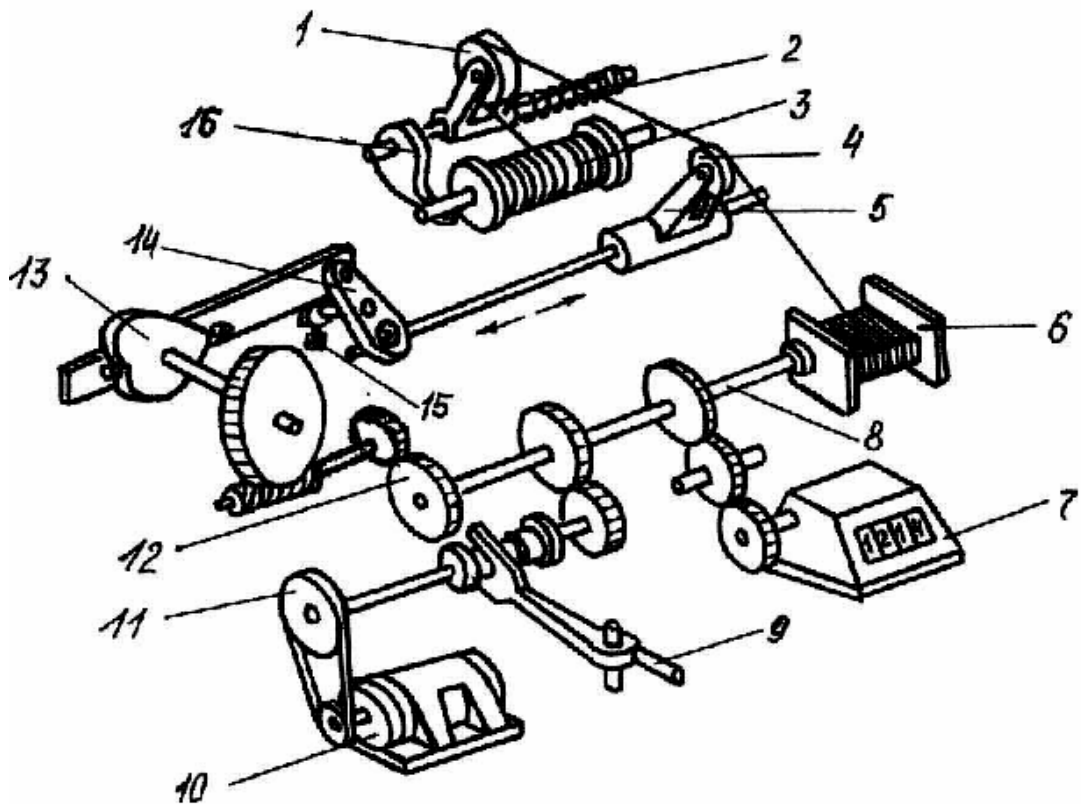


Рис. 7.3. Кінематична схема рядкового намотувального верстата

муфти вмикає та вимикає обертання шпинделя. Кількість обертів бо кількість витків фіксує лічильник 7. Задану розкладку проводу на каркасі забезпечують спеціальні пристрої. Бажаний крок обмотки одержують налагоджуванням зубчастих коліс гітари шестерень 12. Від неї рух передається через черв'ячну пару на кулачок 13, який, обертаючись, переміщує зворотно-поступальну тягу, яка розгойдує кулісу

14. За один оберт кулачка куліса переміщує поводок 5 з роликом розкладки проводу 4 на подвійний хід вздовж каркасу з потрібним кроком розкладки.

Довжина укладання регулюється переміщенням осі гойдання куліси гвинтом 15 для зміни довжини її плечей. Провід змотується роликом I з котушки живлення 3 з певним натягом, який регулюється фрикційним гальмом 16 за рахунок закручення пружини 2.

Верстати для кільцевого намотування зустрічаються різної конструкції й призначені для намотування тороїдних кільцевих обмоток. На рис. 7.4 зображено кінематичну схему найпоширенішого такого верстата. Каркас обмотки 7 встановлюється на столик верстата й притискається притискним роликом 10 до двох ведучих роликів 3. У момент установа каркасу шпуля I і човник 2 розімкнені за рахунок знімного сегменту; на шпулю I намотують з котушки живлення (на схемі не показано) певну порцію проводу за кількість обертів човника та шпулі, що фіксується лічильником. Від ведучого вала через шестерню 4 обертається човник 2, який тягне за собою шпулю. Змотуваний з неї провід через ролик розкладки II намотується на каркас 7, що постійно періодично повертається на певний кут, який відповідає потрібному кроку намотування. Такий поворот каркасу забезпечується

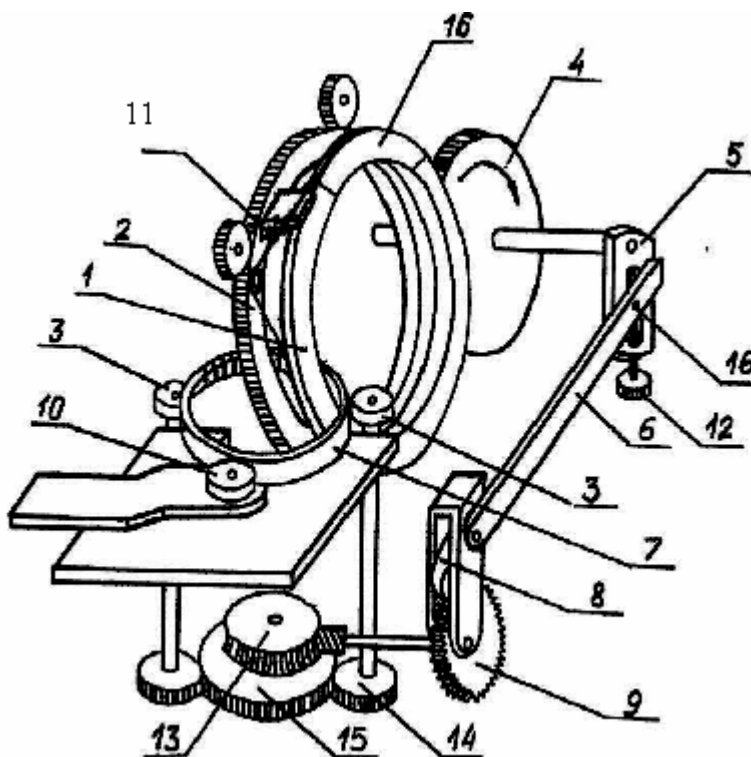


Рис. 7.4. Кінематична схема робочого вузла верстата для кільцевого намотування

кінематичним ланцюгом шатунно-кривошипного пристрою 5-6. Довжина плеча кривошипа 5 змінюється за рахунок зміни положення шарніра 16, шатуна 6 гвинтом 12, за допомогою чого регулюється довжина кроку.

Залежно від довжини кривошипа заціпка 8 захоплює необхідну кількість зубів на храповому колесі 9 і за кожним ходом шатуна повертає його на потрібний кут. Цей рух передається через черв'ячну пару 13 на шестерню 15, яка періодично повертає ведучі ролики 3 через шестерні 14.

Пазове намотування застосовується для виготовлення роторів (або статорів) електричних машин, де провід укладається в пази пакету магнітопроводу (див. Рис. 7.2). Крок намотування визначається кількістю пазів магнітопроводу. На рис. 7.5 зображено кінематичну схему верстата для пазового намотування. Пакет магнітопроводу 2 встановлюється віссю на кронштейн I і підводиться до упору в об'ємний напрямний кулачок 4. Для точної фіксації пакету на нерухомому кулачку є фіксатор 3, який утримує пакет у потрібному положенні за середнім пазом. Провід 5 розкладається в сусідні пази гойдалкою 6, яка обертається на шпинделі 7 верстата. Шпиндель кріпиться на стояку 8 і обертається шестернею 9 від центрального ведучого вала 12. Щоб провід не закручувався, він змотується з котушки живлення 10, яка обертається на вилці II разом із шпинделем 7, і подається за його віссю через напрямні ролики. Для забезпечення натягу проводу котушка 10 стримується на вилці II фрикційним гальмом.

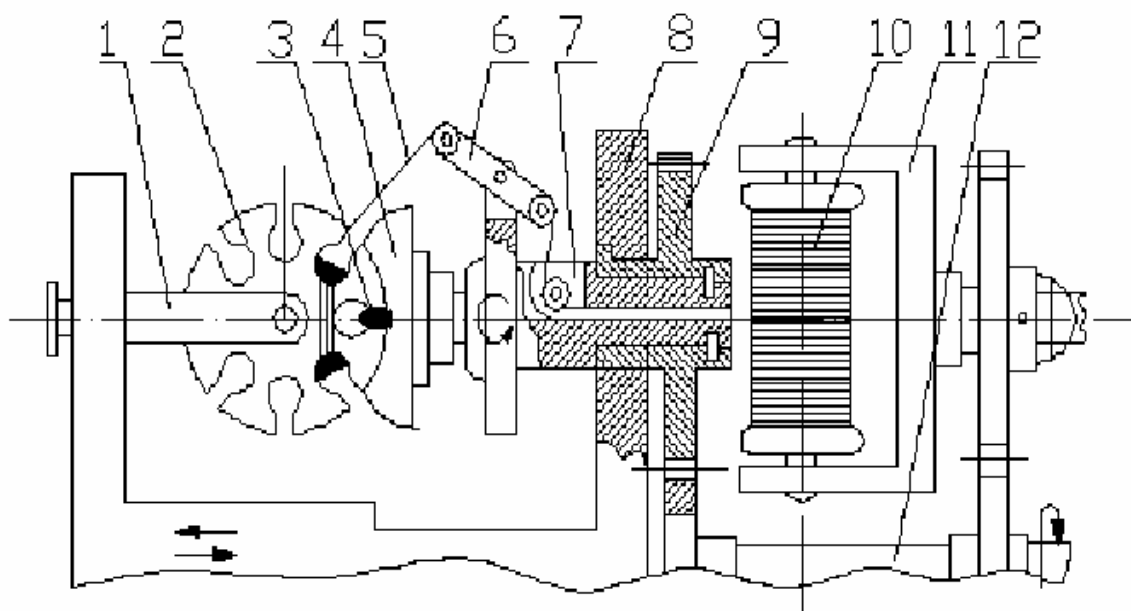


Рис. 7.5 Кінематична схема верстата для пазового намотування

7.2 Технологія виготовлення потенціометрів

7.2.1. Основні поняття та вимоги

Потенціометри (змінні опору) широко застосовують в електричних колах приладів як регулюючі або перетворюючі елементи. Для регулювання характеристик електричних схем вони використовуються як подільники напруги й налагоджуються під час складання кола. Як перетворюючі пристрої вони використовуються у вигляді датчиків положення в процесі перетворення механічних переміщень в електричні величини. Потенціометри складаються із струмопровідника звичайно підвищеного опору та рухомого контакту – струмознімальної щітки, яка ковзає по провіднику.

Потенціометри характеризуються такими параметрами: загальним омичним опором R_n ; входною $U_{вх}$ та вихідною $U_{вих}$ напругами; коефіцієнтом поділу $K = U_{вих} / U_{вх}$; чутливістю, як мінімально можливою зміною коефіцієнтів поділу, яку можна одержати на даному потенціометрі; зусиллям рушання та зусиллям переміщення струмознімача.

Потенціометри бувають кільцеві, де переміщення струмознімача характеризується кутом його повороту відносно осі обертання, та лінійні, де струмопровідник розміщено на стержні чи пластині, а струмознімач переміщується лінійно. За формою струмопровідника потенціометри поділяють на дротяні та металоплівкові. Найширше застосовуються дротяні, як потужніші та надійніші. Металоплівкові поширені в мікроелектроніці за малогабаритної та слабкострумової елементної бази або за високих вимог щодо лінійності характеристики, оскільки дротяні потенціометри мають ступеневу характеристику роботи на величину опору витка провідника.

Основні вимоги до виготовлення потенціометрів:

1. Певна задана лінійність характеристики. Для дротяного потенціометра такий стрибок визначається опором одного витка. Тоді перепад напруги на двох сусідніх витках $\Delta U = U_i - U_{i-1}$, це методична похибка пристрою, яку знаходять так:

$$\Delta U = U / 2n , \quad (7.6)$$

де U - вхідна напруга на потенціометрі; n - кількість витків обмотки потенціометра.

2. Найменша лінійна похибка опору за довжиною потенціометра, оскільки $\Delta R_i \leq \Delta R_{\text{ДОП}}$, де ΔR_i - максимальне відхилення опору на якійсь ділянці потенціометрів.

3. Малий контактний тиск струмознімальної щітки на струмопровідникову доріжку; задається за технічними умовами з умови надійного контакту у випадку виникнення на об'єкті і вібрації або інших можливих механічних дій. Найменше зусилля контакту за умови надійної роботи визначається з урахуванням можливих механічних дій. Найменше зусилля контакту за умови надійної роботи визначається з урахуванням можливих максимальних лінійних прискорень a_{max} , які виникають під час роботи об'єкта:

$$P_K \geq K m_{\text{зб}} a_{\text{max}} , \quad (7.7)$$

де K - коефіцієнт запасу; $m_{\text{зб}}$ - маса щітки, зведена до точки контакту.

4. Потрібний опір ізоляції провідника, як між витками, так і між корпусом потенціометра. Між витками цілком достатньо мати міцну непошкоджену емалеву ізоляцію, що має бути забезпечене в разі намотування дротяного потенціометра. Опір ізоляції між проводом і металевим корпусом має бути не меншим від загальноприйнятої межі для приладобудування - 100 МОм за відносної вологості середовища до 80%.

5. Міцність ізоляції між струмопровідником і каркасом має бути такою, щоб могла протягом певного часу (1...2 хв.) за нормальної температури та вологості до 80% витримати без пробою напругу (100...300) В змінного струму залежно від потужності потенціометрів.

7.2.2. Виготовлення плівкових потенціометрів

Такі потенціометри мають хорошу лінійність робочих характеристик, але застосовуються в основному в малогабаритній електроніці за малих струмів.

Конструктивно вони є каркасом у вигляді плоского діелектрика з розміщеним на ньому відповідної товщини шаром струмопровідника зі сплаву підвищеного електроопору. У приладобудуванні застосовують такі потенціометри як з лінійним, так і з коловим переміщенням струмознімача.

Технологічні процеси одержання цих пристроїв дуже відрізняється від виду застосовуваного струмопровідника. Так, залежно від точності перетворення та потужності використовуваного електронавантаження сьогодні застосовуються три різновиди потенціометрів: зі струмопровідником у вигляді пластини потрібної форми; зі струмопровідником фольгою та зі струмопровідником у вигляді нанесеної резисторної метало плівки.

А. Потенціометри пластинчасті. Це найстарший різновид таких потенціометрів, які виконуються на основі тонкої пластинки з розплющеного дроту заданого перерізу зі сплаву підвищеного опору. Найширше застосовуються такі резисторні матеріали:

Застосовуваний сплав	Питомий електричний опір, Ом·мм ² /м	Температурний коефіцієнт опору
Ніхром	1,10	-0,13
Фероніхром ХІ5Н60	0,95	0,23
Манганін МНМп 85-12	0,45	-0,03
Константан МНМц 40-15	0,52	-0,005·10 ⁻³

Як бачимо з наведених даних, константан найменше серед інших реагує на зміну температури навколишнього середовища і найчастіше від інших сплавів застосовується для потенціометричних пристроїв авіаційних і космічних приладів.

Залежно від заданих опорів і габаритних розмірів перетворювача вибирається провід потрібного складу та необхідного за діаметром перерізу з урахуванням кінців, які загинаються в процесі кріплення. Провід розплющується на валковому стенді до потрібної товщини в межах 0,1...0,4мм і вигинається по колу, якщо потенціометр кільцевий. Пластини гнуться та кінці загортаються для кріплення та паяння на спеціальних ручних гнучких пристроях з подальшим загальним галтуванням пластинки для дотримання площинності.

Каркаси для таких потенціометрів виготовляють із діелектрика. У дрібносерійному виробництві їх звичайно вирубують на вафельних штампах із плоского гетинаксу або текстоліту з подальшою механічною доробкою контура та отворів, а за великомасштабного випуску їх пресують із полістиролу або вінідуру майже в готовому вигляді.

У процесі складання струмопровідну пластинку вставляють кінцями в отвір каркасу з подальшим загинанням кінців. Іноді каркас попередньо покривають епоксидним клеєм, що значно стабілізує пластинку клейовим з'єднанням. До відігнутих кінців пластинки паяється провід, а бігова доріжка зачищається та знежирюється спиртом.

Б. Потенціометри з фольги. Застосовуються рідше, оскільки промислово випускається мало потрібної фольги зі сплавів підвищеного опору. З такої фольги вирубується струмопровідник потенціометра потрібної форми з урахуванням кінців на встановлення кінцевих клем. Каркаси для таких потенціометрів виготовляються аналогічно описаним раніше.

Фольга кріпиться на каркас за допомогою клею БФ-4. Під час процесу склеювання вона щільно притискується сталевною прокладкою до каркасу гвинтовими струбцинами та надходить на полімеризуючий нагрів у стисненому вигляді, що усуває короблення фольги клеєм. За контролю бігової доріжки клейові затіки змивають розчинником.

В. Потенціометри плівкові. Це найширше застосовувані в приладобудуванні потенціометричні пристрої різної конструкції з високими точнісними та експлуатаційними характеристиками. У цьому разі струмопровідник у вигляді резисторної металоплівки наноситься на необхідну частину корпусу з діелектрику.

Крім традиційних перелічених резистивних сплавів для особливо якісних потенціометрів малих габаритних розмірів і струмів широко використовується спеціальні сплави з благородних або рідкісних металів – платина-мідь ПЛМ-2,5; платина-нікель ПЛН-4,5; платина-іридій ПЛІ-10; паладій-вольфрам ПДВ-20 та ін. Такі сплави мають не тільки підвищені властивості порівняно з константаном, ніхромом та ін., а й менші значення термоЕРС відносно мідних проводів електрокола, що й призводить до виникнення шкідливих струмів, які спотворюють

справжній сигнал потенціометра. У датчика положення таке відхилення ΔU сприймається як додаткове переміщення Δy або Δl .

Найвідповідальнішою операцією виготовлення плівкових потенціометрів є операція нанесення резистивної плівки. Для цього застосовують кілька методів, основні з яких електрохімічне осадження та осадження термічно випареного металу у вакуумі.

Електрохімічний метод вважається найпростішим й дешевим способом нанесення металевих плівок на пластмасові підкладки. Але за цього методу резистивне покриття виходить пористим і зі значним розкидом хімічного складу сплаву через різну хімічну активність іонів різних металів сплаву у розчині. За осадження плівки каркас потенціометра покривається захисним шаром нітролаку крім місця нанесення металоплівки і становиться в 10%-й розчин хлористого олова та 1%-й розчин азотнокислого срібла. На незахищене місце з розчину осідає найтонша плівка олова (до 1 мкм) з включенням срібла. Після змивання розчинником нітролаку, де також могли осісти частинки олова та срібла, корпус вміщують в електролітний розчин малого струму, де анодно-хімічним способом розчинено необхідний сплав металів резистора. Іони цього сплаву, вступаючи в хімічну реакцію заміщення, осідають на олово, утворюючи металеву плівку завтовшки 30...60 мкм залежно від вимог з точністю за товщиною до 3 мкм. Після промивання металева доріжка полірується.

Метод осадження термічно випареного металу у вакуумі набагато дорожчий через необхідність наявності вакуумних камер, але дає змогу одержувати високоякісні за міцністю нанесення та хімічним складом металеві резистивні плівки різної товщини до 0,1 мм. На каркасах потенціометрів із пластмас, кераміки або металу виготовляється нітроемалева захисна маска з просвітом у місцях нанесення металу. Потім каркаси вміщують у вакуум камери, куди вміщено тигель у вигляді чашечки, заповненої необхідним резистивним сплавом. Сплав випаровують сильним нагріванням за допомогою індуктора, що є потужною обмоткою з кількох витків проводу навколо тигля, яка живиться струмами високої частоти. Пари випареного металу спрямованим електромагнітним полем осаджують на каркаси потенціометрів. Оскільки температура нагрівання та випаровування резисторних

сплавів велика і часто досягає $1500...2000^{\circ}\text{C}$, тиглі виготовляють із тугоплавких керамічних матеріалів: оксид алюмінію (алунд) витримує температуру 1600°C ; оксид барію - температуру 1750°C ; графіт – температуру до 3000°C .

Потім емалеву маску змивають і потенціометри надходять на розпаювання виводів, складання та контроль.

7.2.3 Виготовлення дротяних потенціометрів

У приладобудуванні найчастіше застосовують кільцеві тороїдні потенціометри такого типу. Лінійні дротяні потенціометри застосовуються порівняно рідко у високотокових колах як датчики лінійних переміщень елементів. Технологічний процес одержання дротяних потенціометрів багато в чому аналогічний виготовленню обмоток електроелементів, розглянутих раніше, і складається з таких етапів:

1. Виготовлення потрібної форми каркасу.
2. Підготовка проводу.
3. Намотування потенціометрів на машинах.
4. Закладання кінців проводу - струмопроводів.
5. Контроль характеристик і складання.

Каркаси для дротяних потенціометрів виготовляють із пластмас або металу; вони можуть бути кільцевими, дуговими, пластинчастими, лінійними та стержневими. Спосіб одержання їх визначається формою та матеріалом.

Плоскі пластмасові каркаси штамнуються вирубуванням з текстоліту або гетинаксу з подальшою доробкою бічних граней, а складнішої форми – пресуються методом гарячого пресування з венідуру та полістиролу або виготовляються на шприц-машинах литтям під тиском із фторопластів.

Металеві каркаси таких потенціометрів виготовляють механічною обробкою на верстатах із відповідних за формою заготовок алюмінієвих або сталевих сплавів. Якщо потрібно одержати кільцевий каркас, то його нарізують із труби-заготовки з подальшою доробкою з усіх боків до необхідних розмірів і точності. Стержневі каркаси виточують із відповідного прутка, а пластинчасті вирублюють

штампуванням із подальшою доробкою отворів і поверхонь. Усі металеві каркаси після виготовлення покривають ізоляцією – двома шарами емалі за подальшим лакуванням.

Особлива увага приділяється вибору обмотувальних проводів. Для мало відповідальних дротяних низькоомних потенціометрів іноді застосовується мідний провід марки ПЕЛ, ізольований лаковою емаллю. Для більшості приладів потенціометри виготовляють із застосуванням проводів із сплавів з високим омичним опором: фероніхрому, ніхрому, манганіну, константану та ін., для особливо точних приладів, які працюють у складних умовах, застосовують проводи з благородних металів типу платина-нікель ПлН-4,5; платина-мідь ПлМ-2,5; паладій-срібло ПдСр-40; золото-хром-мідь ЗлХ-0,5 та ін. Діаметри проводів для таких потенціометрів перебувають у межах 0,02...0,2 мм.

Намотку дротяних потенціометрів виконують на намотувальних машинах рядкової котушкової розкладки та тороїдного намотування (рис. 7.3 і 7.4) з підвищеними характеристиками точності. Кількість витків намотки визначається згідно із заданим загальним омичним опором потенціометра R_0 та параметрами каркасу:

$$R_0 = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4nl_B}{\pi d^2}, \quad (7.6)$$

де ρ - питомий опір матеріалу проводу, Ом·мм²/м; n - кількість витків обмотки; l_B - довжина одного витка проводу, яка визначається розмірами та формою каркасу, м; d - діаметр проводу, мм.

Так, для стержневого потенціометра з круглим поперечним перерізом каркасу діаметром d_k довжина витка $l_B = \pi(d_k + d)$. Для некруглого плоского каркасу висотою h та товщиною b із заокругленим овалом на боках довжина витка за (7.4) при $r = b/2$.

$$l_B = 2h + 1.14b + \pi d$$

Кількість витків потенціометрів за (7.2)

$$n = \frac{\pi d^2 R_0}{4 \rho l_B}$$

Для стержневого потенціометра

$$n = \frac{d^2 R_0}{4\rho(d_k + d)} \quad (7.7)$$

Крок обмотки знаходимо із загальної довжини розкладки проводу. Так, для стержневого каркасу крок

$$t = L/n \quad (7.8)$$

для тороїдного потенціометра

$$t = \pi D/n, \quad (7.9)$$

де L , D - довжина стержневого та діаметр тороїдного каркасу, мм.

Верстати налагоджують за одержаними характеристиками. Особливу увагу приділяють точності встановлення каркасів на верстатах та зусиллю натягу проводу. В процесі намотування проводу крайні два-три витки обмотки приклеюють до каркасу клеєм БФ4, а спеціально залишені кінці зачищають від ізоляції.

Іноді конструкція потенціометра потребує утворення виводів від проміжних середніх витків обмотки. У такому разі в заданих точках потенціометра обережно спеціальним пінцетом із загнутими кінцями відтягують виток обмотки, під нього закладають конденсаторний папір, просочений лаками, зачищають виток проводу від емалевої ізоляції м'якими скребачками (мідними, латунними, алюмінієвими) і лудять дане місце. Під даний виток пропускають зачищений та розплющений кінець вивідного проводу, загинають його кінець і паяють. Місце паяння щільно покривають цапон-лаком і закривають конденсаторним папером, приклеюючи клеєм БФ-4.

Потім обмотка з каркасом встановлюється на основу-корпус потенціометра. Щоб забезпечити щільне встановлення, між корпусом і обмоткою прокладають конденсаторний папір і втискають обмотку всередину гнізда. Зібраний потенціометр просочують у автоклавах спеціальними лаками та сушать у витяжних шафах.

Зачищення контактної доріжки за витками виконують або механічно за допомогою м'яких скребачок, або дрібною абразивною шкіркою-нулівкою чи гідропульпою абразивним розчином під тиском. Потім ретельно промивають обмотку від абразиву та відходів ізоляції.

Важливим моментом складання потенціометра є добір і встановлення струмознімальних щіток. Вибір матеріалу щітки визначається матеріалом обмотувального проводу потенціометра. Це істотно впливає не лише на величину спрацювання самої щітки та проводу обмотки і термін служби потенціометра, а й на величину несправжніх термострумових сигналів пари щітка – провід, які збільшують похибку роботи пристрою. Так, для фероніхромових, ніхромових і константанових обмоток найкращими є щітки з платино-нікелевого сплаву ПлН-5, для проводу платина-мідь ПлМ-8,5 вибирають щітку зі сплаву паладій-іридій ПлІ-18 та ін. Загинанням плоскої притискної пружини забезпечують притиснення щітки до контактної доріжки з потрібним контактним тиском. Вибираючи його, треба враховувати зусилля роботи потенціометра на об'єкті.

1. За умови роботи в динамічних навантаженнях найменша сила контактного тиску F_k , яка потрібна для надійного контакту за наявності прискорення a [см/с²], що діє на об'єкті за напрямом контактного тиску:

$$F_k \geq K m_{зв} a, \quad (7.10)$$

де $m_{зв}$ – маса щітки, зведеної до точки контакту; $K=2\dots3$ – коефіцієнт запасу.

2. Під час роботи за стаціонарних спокійних умов контактний тиск вибирається з умови найменшого перехідного опору в точці контакту, коли сила контактного тиску $F_k = 0,5\dots1,2$ гс залежно від розмірів потенціометра.

7.2.4. Точність виготовлення потенціометрів

Основна вимога до точності виготовлення потенціометрів – забезпечити певну закономірність зміни опору в разі переміщення струмознімача на певну відстань. Допуск на відхилення такого опору задається часто в жорстких межах – не більш як 0,1-0,3% омічного опору обмотки.

У свою чергу, точність виготовлення обмотки залежить від точності геометричних і фізичних параметрів проводу та каркасу, точності дотримання технологічних характеристик за процесу намотування (постійність і швидкість намотування, зусилля натягу проводу, точність встановлення каркасу на верстаті тощо) та якості намотувального устаткування (точність крокового пристрою під час

розкладки проводу, відхилення інших кінематичних характеристик, зміна жорсткості елементів та ін.).

Так, за намотування кільцевого потенціометра в разі зміщення його каркасу з осі обертання стола відбудеться зміна кроку розкладки. У напрямі зміщення та протилежному йому буде щільніше вкладання проводу, ніж у перпендикулярному; з'являється похибка кроку Δt .

Визначимо загальну похибку виготовлення кільцевого потенціометра, передавальна функція якого згідно з (7.6), враховуючи крок намотки, визначиться так:

$$R_0 = 4\rho D l_{\epsilon} / d^2 t, \quad (7.11)$$

де D - середній діаметр каркасу-тороїду.

Через похибки (вони завжди мають місце) первинних параметрів $\Delta\rho$, Δd , Δl_{ϵ} , виникає похибка опору потенціометра ΔR , можливе максимальне значення якої визначається згідно з (7.5):

$$\Delta R = \frac{\partial R_0}{\partial \rho} \Delta \rho + \frac{\partial R_0}{\partial D} \Delta D + \frac{\partial R_0}{\partial l_{\epsilon}} \Delta l_{\epsilon} + \frac{\partial R_0}{\partial d} \Delta d + \frac{\partial R_0}{\partial t} \Delta t \quad (7.12)$$

Диференціюючи вираз (7.11), дістаємо

$$\Delta R = \frac{4D l_{\epsilon}}{d^2 t} \Delta \rho + \frac{4\rho l_{\epsilon}}{d^2 t} \Delta D + \frac{4\rho D}{d^2 t} \Delta l_{\epsilon} - \frac{8\rho D l_{\epsilon}}{d^3 t} \Delta d - \frac{4\rho D l_{\epsilon}}{d^2 t^2} \Delta t$$

Після перетворень визначимо відхилення ΔR :

$$\begin{aligned} (BB)_R &= +R_0 \left(\frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta l_{\epsilon}}{l_{\epsilon}} \right); \\ (HB)_R &= -R_0 \left(2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta t}{t} \right). \end{aligned} \quad (7.13)$$

На верхнє (BB) та нижнє (HB) відхилення впливає також знак похибки параметра.

Для прямолінійного стержневого потенціометра з круглим поперечним перерізом каркасу діаметром d_k рівняння зв'язку має вигляд

$$R_0 = \pi R_1 n (d_k + d) \cdot 10^{-3};$$

де $R_1 = 4\rho / \pi d^2$ - опір 1 м проводу, Ом.

Максимальне відхилення опору потенціометра в партії

$$\Delta R = \pi n [(d_k + d) \Delta R_1 + R_1 \Delta d_k] \cdot 10^{-3},$$

де $\Delta R_1 = \varphi(\Delta \rho; \Delta d)$ – розсіяння опору 1 м проводу через відхилення $\Delta \rho$ та Δd (на різних котушках може сягати 20%).

Приклад. Визначити похибку роботи кільцевого потенціометра з константану за кутом повороту струмознімача $R_\gamma = \varphi(\gamma)$. Рівняння зв'язку для цього випадку буде аналогічним (7.11). Кількість витків проводу в секторі дуги кута γ

$$n_\gamma = \gamma \pi D / 360 t.$$

Опір потенціометра в цьому секторі, Ом,

$$R_\gamma = \frac{\rho l_g D}{90 d^2 t} \gamma.$$

Кут повороту струмознімача беремо $\gamma = 90^\circ$; похибка повороту через зазори $\Delta \gamma = -1^\circ$. Інші значення величин та їх похибки беремо такими: $\rho = 0,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ (або $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{мм}$); $\Delta \rho = 0,05 \cdot 10^{-3}$; $l_g = 20 \text{ мм}$; через свободу намотування $\Delta l_g = +0,5 \text{ мм}$; $D = 50 \text{ мм}$; похибка $\Delta D = -0,2 \text{ мм}$; $d = 0,5 \text{ мм}$; відхилення $\Delta d = -0,01 \text{ мм}$; $t = 1 \text{ мм}$; похибка намотування $\Delta t = -0,05 \text{ мм}$.

Визначаємо номінальне значення $R_\gamma = 2 \text{ Ом}$. Згідно з (7.13) та з урахуванням знаків при Δd , $\Delta \gamma$, Δt , ΔD , $\Delta \rho$, Δl_g дістаємо

$$(BB)_R = + R_\gamma (\Delta \rho / \rho + \Delta l_g / l_g + 2 \Delta d / d + \Delta t / t) = + 2 \left(\frac{0,05}{0,5} + \frac{0,5}{20} + \frac{2 \cdot 0,01}{0,5} + \frac{0,05}{1} \right) = + 0,$$

43;

$$(HB)_R = - R_\gamma (\Delta D / D + \Delta \gamma / \gamma) = - 2 \left(\frac{0,2}{50} + \frac{1}{90} \right) = - 0,032.$$

Остаточна відповідь: можливе значення $R_\gamma = 2_{-0,032}^{+0,43} \text{ Ом}$ при $\gamma = 90^\circ$.

7.3. Технологія електромонтажу в приладобудуванні

7.3.1. Основні поняття та означення

Складання електричних елементів у приладобудуванні є однією з

найпоширеніших операцій і, незважаючи на відносну простоту, належить до трудомістких і відповідальних процесів.

Під електричним монтажем (електромонтажем) на виробництві розуміють технологічний процес з'єднання окремих електроелементів або ділянок електрокіл в єдину схему. Він має певний перелік робіт підготовчого та організаційного характеру робочих місць, підготовку окремих електроелементів до складання, безпосередньо процес з'єднання, процеси регулювання, налагоджування та контролю характеристик ділянок схеми та всього пристрою. Якість проведення цих робіт, насиченість їх технологічною контрольно-вимірювальною апаратурою багато в чому визначають надійність роботи приладів, тривалість їх ресурсу.

Окремі електричні або радіоелектронні елементи та функціональні пристрої, з'єднані під час електромонтажу в єдину принципову електричну схему, називаються елементною базою. До неї належать резистори, потенціометри, конденсатори, дроселі, трансформатори, діоди, транзистори, функціональні схеми, реле, перемикачі, фотоелементи та ін. Залежно від складних електричних схем, розмірів пристрою та потужності споживаної електроенергії в приладобудуванні розрізняють такі різновиди електромонтажу:

- провідниковий або об'ємний;
- друкований ;
- мікромодульний;
- на основі напівпровідникових мікросхем.

Останній різновид монтажу ще не набув у приладобудуванні широкого застосування й використовується в спеціальній мікроприладовій апаратурі, хоча має великі функціональні можливості.

7.3.2. Об'ємний провідниковий монтаж

Це такий електромонтаж, коли елементна база електросхеми з'єднується за допомогою окремих проводів. Такий монтаж виконується або вкладанням окремих проводів і кабелів; або розкладанням попередньо набраного та скріпленого багато провідникового джгута певної форми.

Переваги провідникового монтажу: велика дистанційність з'єднань, коли довжина провідника не впливає на процес; значна гнучкість і універсальність з'єднань; простота застосовуваної оснастки та технології виконання монтажу; легкість освоєння такого різновиду монтажу; універсальність методу; можливість передачі великого струму.

Недоліки таких з'єднань: великогабаритність з'єднання; об'ємність; інерційність і чутливість до вібрацій; велика трудомісткість процесу; тривалість циклу з'єднання через майже повсюдну ручну, послідовну працю.

Технологічний процес провідникового монтажу складається з таких основних етапів:

1. Підготовка необхідного проводу та його нарізування.
2. Обробка кінців провідників.
3. Виготовлення джгутів /якщо вони застосовуються/.
4. Кріплення проводу до плат і елементів.
5. Паяння з'єднань.
6. Контроль з'єднання та покриття місць паяння.

Докладність такого процесу та наявність робочих місць визначаються масштабною випуску приладів.

Для такого монтажу застосовуються різні проводи. В основному це багатожильний мідний гнучкий провід у пластмасовій ізоляції, який дає змогу пропускати струми напругою до 300 В або 300...1000 В. Іноді використовується одножильний жорсткий мідний провід для фіксування монтажу. Площа перерізу проводу вибирається за потужністю струму, проте звичайно такою, що не перевищує 1,5 мм². Ізоляція таких проводів виконується з поліхлорвінілового пластикату, полівінілхлориду, поліетилену, фторопласту, гуми на основі кремнійорганічних каучуків, високоміцних плівок, поліамідну та ін. Часто застосовуються дво- або тришарові комбіновані покриття.

Для провідників високочастотних струмів застосовуються спеціальні проводи з додатковою екранованою захисною ізоляцією. Вона виготовлена у вигляді металевого сітчастого чохла зі сталльної проволочи, викладеного двома групами пасм у певній послідовності.

Залежно від того, який струм проводиться, намагаються застосовувати проводи різних кольорів ізоляції. Так, згідно з ОСТ 4.022.010-79 червоний колір ізоляції та всі його відтінки застосовують для проводів, які перебувають під позитивним електропотенціалом; синій колір і всі його поєднання застосовують для провідників із негативним потенціалом, жовтий та оранжевий – для проводів кіл живлення змінним струмом і кіл розжарювання електровакуумних приладів; чорний і фіолетовий - для проводів кіл із нульовим потенціалом відносно корпусу приладу; білий, сірий і зелений - для всіх інших провідників.

Проводи, які застосовуються найширше:

1. Проводи монтажні з комбінованою ізоляцією марок ПМОВ і ПМВ'Г (ТУ 16-505.437-73) призначені для внутрішнього та міжприладового фіксованого монтажу, працюють за температури від -50 до $+70$ °С із характеристиками струму за частотою до 5 кГц напругою, до 500 В для змінного, 700 В - для постійного, опір ізоляції - до 100 МОм (за температури 40 °С).

2. Проводи монтажні з ізоляцією з полівінілхлоридного пластикату (ТУ 16-505.455-73) полегшені та призначені для експлуатації за температури від -40 до $+70$ °С з номінальною площею перерізу жили $0,12 \dots 0,75 \text{ мм}^2$ опір ізоляції за температури 20 °С та відносної вологості $90(\pm 3)\%$ не менший від 1500 МОм.

3. Проводи монтажні з поліетиленовою ізоляцією багатогабаритні (ТУ 16-505.495-73) екрановані та неекрановані марок МПМ, МПМЕ, МПКМ, МПКМЕ, МПМУ, МПМУЕ тощо призначені для експлуатації за температури від -50 до $+85$ °С. Площа перерізу жили в них - $0,12 \dots 1,5 \text{ мм}^2$; опір ізоляції за температури 20 °С та відносної вологості $95(\pm 3)\%$ не менший від 1000 МОм.

Перед монтажем або вкладанням у джгути проводи ріжуть електромонтажними обценьками-гострогубцями за необхідної довжини з допуском $+3, +5$ мм. Потім спеціальними монтажними обценьками - ізоляцієзнімачами зі струмонагрівною ниткою випалюється та знімається ізоляція з кінців неекранованих проводів для оголення жили довжиною 10...15 мм, а для малогабаритного монтажу - довжиною 8...10 мм, а кінці багатожильного проводу закручують.

Кінець монтажних проводів із додатковими обплітальними шарами ізоляції оброблюється, згідно з вимогами електричного монтажу. Вони піддаються

додатковій операції щодо закріплення обплетення одним із методів: клеєм, нитяним бандажем, електроізоляційною хлорвініловою трубкою - кембриком, термоусаджувальною трубкою обмотувальної ізоляції та ін.

Виготовлення джгутів

Джгути застосовують у приладах тоді, коли є складна та габаритна електрична схема з'єднань елементів. Це дає змогу спростити остаточне складання приладів, упорядкувати розкладання проводів, поліпшити їх кріплення, уникнути помилок з'єднування кінців. Такі джгутові об'єднання набагато збільшують надійність роботи приладів, зменшують трудомісткість монтажу. Проте потрібно враховувати, що застосування джгутів у конструкції призводить до збільшення витрат проводу та ваги. Тому одним із важливих моментів розробки джгутової схеми є раціональне розкладання джгута в системі приладу та його кріплення до каркасу.

Звичайно проводи в джгут розкладають на плоских або об'ємних шаблонах-трафаретах, виготовлених із фанери та дерев'яних косинців. Кінці проводів закріплюють спеціальними притискачами у вигляді пружних пластин у необхідних місцях шаблонів, а потім згідно з малюнком на шаблоні, протягують провід у потрібному напрямку. У місцях згину стоять сталеві штирі або петлі певного діаметра, який урахує допустимий радіус перегину проводу. При цьому екрановані проводи розміщують усередині джгута з попередньо закладеним екраном на кінцях. Потім укладають короткі проводи або проводи малого перерізу, Зверху розкладають товстіші та довші проводи.

Джгути в'яжуть різними способами та засобами. Залежно від умов експлуатації та типу ізоляції проводів їх закріплюють у джгути в'язкою шнурками, суровими нитками, тасьмою чи кіперною стрічкою. Шнурки та нитки наперед просочують антисептиком і оброблюють церезином. Дуже щільно та багато разів обов'язуються та обмотуються стрічками місця джгута, де є розгалуження проводів. Якщо джгути працюють за умов зміни температур і вологості, то їх ще додатково оббинтовують поліамідною ізоляційною стрічкою. У місцях майбутнього кріплення джгута встановлюють хлорвінілові бандажі, які в теперішній час все ширше використовують для їх в'язки.

Монтаж провідників

Процес з'єднання елементної бази провідниковим методом починається з лудіння кінців проводів і джгутів припоєм ПОС-40. Потім кріпляться провідникові ділянки схеми. Оголені кінці проводів і струмовиводів навісних електроелементів кріпляться на спеціальні розвідні клеми та контактні пелюстки. Спосіб кріплення визначається вимогами до механічної міцності монтажу. Основні способи кріплення кінців проводів показано на рис. 7.6.

Якщо прилади працюють за спокійних стаціонарних умов, то кінці жили загинають і обтискають на пелюстці, а надлишок кінця обшукують так, як показано на рис. 7.6,а,б,г,е. За роботи приладів за динамічних умов (транспорт, авіація та ін.), коли виникають вібрація та трясіння, кінці проводів обгинають навколо клеми або пелюстки не менш як на один оберт (рис. 7.6,в,д) та добре обтискають слюсарними обценьками-плоскогубцями. Довгі кінці проводу закручують.

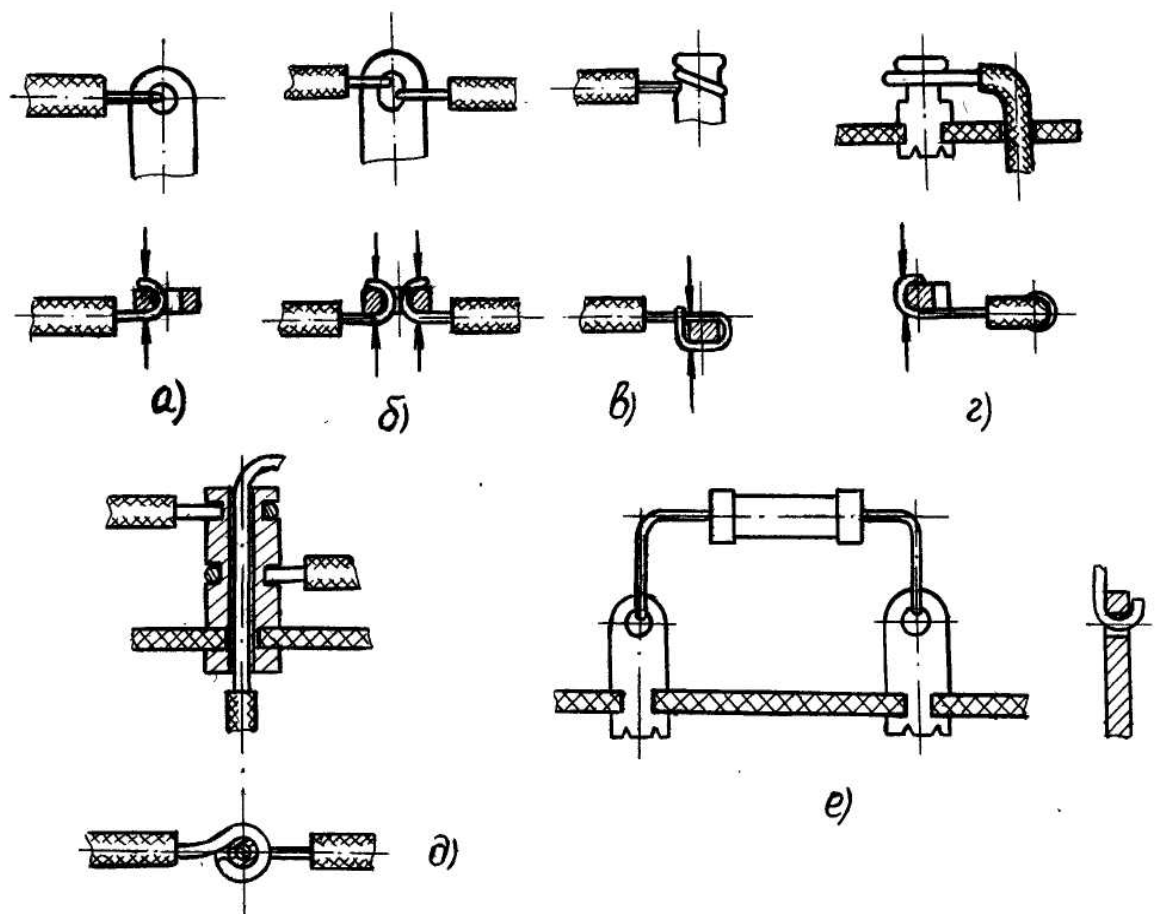


Рис. 7.6 Способи кріплення кінців проводів:
а, б, г, е – кріплення кінців на пелюстці;
в, д – обгинання кінців проводів навколо клем

Місця з'єднання паяють електропаяльниками потужністю 60, 90 або 120 Вт припоєм ПОС-40 із застосуванням як флюс каніфолі або 30%-го розчину каніфолі та

спирту. За відповідальних паянь застосовують припій ПОС-6І, а для морських приладів - ПОСК-50 з добавкою 1% кадмію. Під час паяння з'єднань строго стежать за температурою паяльників, щоб запобігти їх перегріванню, що призводить до пошкоджень елементної бази. Тому температура нагрівання паяльника має лише на 40...50 °С перевищувати температуру плавлення припою.

Після розпаювання проводів кріплять джгути та довгі окремі провідники до каркасу або плат. Кріплення виконується за допомогою хомутиків або притискних скоб, під які встановлюються хлорвінілові бандажі або прокладається ізоляція. У деяких випадках на місце пайки натягується хлорвінілова трубка - кембрик, попередньо надіта на провід.

Кінцевим етапом процесу є тестовий контроль на правильне з'єднання схеми та її якість, після чого місця пайки покривають нітролаком для захисту від впливу навколишнього середовища.

7.3.3. Технологія друкованого монтажу

Під друкованим монтажем розуміють такий процес утворення електричних кіл, за якого вся електропровідникова схема отримується одночасно у вигляді плоского рисунку із металу на платі з діелектрика. При цьому така плата водночас служить основою для розміщення на ній усієї потрібної елементної бази, тобто служить елементом конструкції приладу.

Порівняно з провідниковим електромонтажем, який розглянуто раніше, друкований монтаж дає змогу різко скоротити габаритні розміри електричних вузлів, зменшити їх масу, підвищити механічну міцність системи та надійність її роботи особливо за вібрацій, значно механізувати виробництво таких схем, спростити контроль, значно збільшити продуктивність праці, забезпечити стабільність вихідних характеристик таких схем. Усе це зумовило його широке застосування в приладобудуванні.

Усю термінологію та основні положення технології одержання друкованих плат визначено ГОСТ 20406-80. Сьогодні на виробництві застосовується два основних процеси утворення друкованих провідникових схем на платах:

1. Субтрактивний - процес одержання провідних рисунків, який полягає у вибіркового видаленні зайвих ділянок металофольги.

2. Адитивний - процес одержання провідних рисунків, який полягає у вибіркового осадженні провідникового матеріалу на нефольгований матеріал основи.

За щільністю струмопровідного рисунку друковані плати поділяються на три класи: А - друковані плати з мінімально допустимою шириною провідника та мінімальною відстанню між елементами провідного рисунку 0,5 мм; В - мінімальна ширина 0,3 мм; В - мінімальна ширина 0,2 мм (для низькострумних схем).

Технологічний процес одержання друкованих плат в основному складається з таких найбільш поширених етапів:

1. Трасування схем Згідно з принциповою електричною схемою креслення пристрою виконується раціональне компонування елементів із щільністю вибраного класу та рисується тушшю схема майбутнього з'єднання. При цьому вибираються найбільш оптимальні з точки зору простоти з'єднання варіанти схем, які забезпечують необхідну щільність установлення всіх елементів на платі та відсутність недозволених перетинів струмопровідників. Ця процедура виконується вручну приблизно або за допомогою сучасних графобудівників на ЕОМ із застосуванням програм типу "ЛАБІРИНТ".

2. Виготовлення шаблонів. За одержаною схемою в масштабі 1:1 виготовляють робочі фотошаблони, трафарети-маски; трафарети-кліше тощо, які дають змогу тиражувати схему на платах. При цьому такі шаблони можуть бути у вигляді позитивних або негативних зображень схеми. Для фольгованих плат (субтрактивний процес) такі шаблони є негативним відображенням схеми провідників, а для нефольгованих (адитивний процес) - позитивним.

3. Виготовлення плат-основ. Для виготовлення плат-основ застосовуються діелектрики - шаровані пластики-гетинакс (формальдегідний полімер із паперовим наповнювачем) або міцніший склотекстоліт (епоксидний полімер, який просочив кілька шарів склотканини). Товщину плат вибирають, ураховуючи спосіб виготовлення, згідно з механічними та діелектричними вимогами. Рекомендована товщина плат: 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 та 2,5 мм. Тонкі плати вирубуються за контуром

на штампах з подальшою доробкою контуру; а товсті (особливо на склотканині) пресують у закритих прес-формах методом гарячого пресування. Для чіткої координації плат на подальших операціях процесу, на протилежних їх краях виготовляють два фіксуючих отвори діаметром 2 або 3 мм. Застосовуються фольгований та нефольгований діелектрики:

- гетинакс нефольгований марки ГВ;
- гетинакс, фольгований з одного боку, марки ГФ-1-35, або ГФ-І-50 (де 35 та 50 - товщина наклеєної мідної фольги в мікрометрах);
- гетинакс, фольгований з обох боків, марки ГФ-2-35 або ГФ-2-50;
- гетинакс фольгований марки ГФ-І-35Г або ГФ-1-50Г (де літера Г свідчить про те, що фольгу одержано на платі гальванометодом);
- склотекстоліт, облицьований фольгою з одного боку, марки СФ-1-35 або СФ-1-50;
- склотекстоліт, облицьований фольгою з двох боків, марки СФ-2-35 або СФ 2-50;
- склотекстоліт, покритий фольгою з одного або з двох боків гальванометодом (СФ-1-35Г та ін.).

4. **Нанесення рисунку схеми.** Рисунки майбутньої схеми наносяться двох видів. Якщо плата фольгована, то наносять рисунок-позитив – точну копію металопровідникової схеми, якщо нефольгована - то рисунок - негатив схеми. Рисунок виконується кислототривкою білою аніліновою фарбою, з феноловим наповнювачем дуже контрастно, без розмитих країв, патьоків із чіткими просвітами між лініями. Існує безліч методів нанесення такого рисунка, основні з яких такі:

А. **Фотохімічний**, який дає якісні рисунки схеми, добре автоматизується. Сутність даного методу полягає в тому, що на плату наноситься світлочутлива емульсія (фоторезист) із шелаку, аміаку, амонію та ін., розчинених у дистильованій воді. Через покладений зверху фотошаблон експонуються (засвічуються) світлом ртутних або кварцових ламп, багатих на ультрафіолетові промені. Проявлення виконують у денатуратному спирті з домішками анілінового барвника, які осідають на засвічених місцях плати, а на незасвічених ділянках емульсія розчиняється та змивається. Рисунок схеми після промивання дублять у розчині каніфолі в спирті та

сушати за температури 80...100 °C.

Б. **Метод сіткографії**, який ґрунтується на застосуванні трафаретів-масок схеми, виготовлених на мікросітці з тонкої сталевий струни, де діаметр дроту та розмір вічка 0,02...0,05 мм.

Трафарет-маска накладається на плату і крізь відкриті вічка сітки пластмасовим ракелем на плату продавлюється фарба ТНПФ або СТВ-12. При цьому слідкують, щоб трафарет щільно був притиснений до плати та не було патьоків і розмивів. Метод дає добру роздільну здатність, належить до ефективних процесів. Потім фарби дублять і висушують.

В. **Метод офсетного друку**, тобто типографський метод накатування рисунка схеми за допомогою валка, обтягнутого дрібнопористою офсетною гумою, на який схема з фарби переноситься з об'ємного кліше, змоченого фарбою. Кліше з цинку або алюмінієвого сплаву попередньо готується як трафарет-шаблон із протравленням місць, які не підлягають контакту. Плати подають транспортером під валок, який швидко копіює рисунок. Метод дуже продуктивний і простий, але дає можливість одержувати рисунки невисокої якості через розмиття контурів. Застосовується для одержання простих плат із малошільним рисунком.

5. Одержання схеми металопровідників. Залежно від застосовуваних плат (фольговані чи нефольговані) використовують різні методи одержання металевий схеми провідників. У приладобудуванні застосовують в основному такі методи:

А. **Метод травлення.** Застосовується за наявності фольгованих плат (субтрактивний спосіб), на які нанесено захисний рисунок із фарби. Зайві ділянки мідної фольги травлять у ваннах із розчинами хлорного заліза, потім амонію надсірчаноокислого, сірчаноокислої міді в розчині сірчаної кислоти, в яких відбувається процес заміщення. Після травлення виконується ретельне промивання з метою нейтралізації процесу. Такий метод ефективний.

Б. **Метод хімічного міднення.** Належить до групи адитивного способу одержання струмопровідного рисунка друкованих плат на нефольгованих платах. Ґрунтується на хімічному осадженні металу на незахищені рисунком фарби ділянки плати майбутні металопровідники. Процес виконується в кількох хімічних ваннах. Спочатку сенсibiliзують поверхню плати, як видалення блискучої плівки поверхні

плати для її роз рихлення – матування в розчині сірчаної кислоти. Потім наносять найтонший шар олова у ваннах із розчинами двохлористого олова та соляної кислоти в дистильованій воді. Далі активізують поверхню з додатковим осадженням металевого олова з розчинів соляної кислоти, двохлористого олова, двохлористого паладію, хлористого калію та водного аміаку в кількох ваннах. У результаті хімічних процесів одержують тонку плівку металевого олова до 2...3 мкм на необхідних місцях плати. Хімічне міднення олова осадженням міді виконується у ваннах з розчинами сірчаноокислої міді та інших активних калієвих і натрієвих солей у формаліні.

В. Метод гальванічного міднення провідників. Цей метод простіший щодо кількості ванн і складності розчинів, ніж попередній, хоча й менш поширений через необхідність застосування спеціального несинусоїдного змінного струму для підімкнення гальванованни. Спочатку виконується незначне підтравлення плат із рисунком для видалення блискучої плівки поверхні діелектрика з пластмас - сенсабілізація, що дає змогу розпушити незахищені фарбою місця поверхні для кращого осадження на неї металу, зокрема міді. Підтравлювання виконують у ванні з розчином амонію надсірчаноокислого та сірчаної кислоти. Після промивання плати вміщують у гальванованну з розчином сірчаноокислої міді, сірчаної кислоти та етилового спирту. Під час пропускання крізь гальванічний розчин несинусоїдного, асиметричного, змінного струму з електроліту мідь випадає на оголені ділянки плат. Тривалість такого попереднього осадження -60...90 хв. Потім у другій гальванованні в розчині борфтористоводневої міді з іншими домішками виконується остаточне міднення плат до необхідної товщини струмопроводу.

Г. Метод перенесення. Цей метод відрізняється від усіх попередніх тим, що не потребує утворення на платі рисунка з фарби, а метало-схема провідників наноситься на неї перенесенням з об'ємного шаблону, що є кліше-матрицею. Чиста плата з діелектрика покривається шаром клею БФ-4 і до неї щільно притискають матрицю, яку попередньо покривають міддю в ванні гальванічним методом до необхідної товщини плівки та нагрівають до температури 120...140 °С. Шар наносять на матрицю гальваноспособом, а для забезпечення слабкого зчеплення міді з основою матрицю попередньо покривають оксидом. Під дією температури та тиску клей

швидко полімеризується, схема впроваджується в поверхню плати і після відривання матриці залишається, на платі. Істотним недоліком цього простого методу є можливе погане охоплення тонких ділянок провідників, що призводить до порушення схеми.

6. **Свердління отворів.** Для встановлення на платах електрорадіоелементів у потрібних місцях свердлять отвори діаметром 1 мм. Свердління виконують або за кондукторними накладними шаблонами, або на верстатах із ЧПК, де координати отворів заносяться до програми роботи верстата.

7. **Металізація отворів.** Для забезпечення кращого електроконтактну всі просвердлені отвори металізуються міддю. Для цього плати вміщують у ванну з активними мідними солями, де виконується хімічне осадження міді на розпушені обробкою стінки отворів. Для кращого пропаювання схеми іноді додатково виконується хімічне лудіння плат і отворів у них у ваннах із солями олова.

8. **Набивання плат елементами.** Установлення елементної бази в потрібній послідовності на готову електросхему в отвори плат виконується або вручну в дрібносерійному виробництві, або за допомогою робототехнічних систем автоматично у великогабаритному виробництві (рис. 7.7). Для кращого тепловідведення такі елементи найчастіше кріпляться за підвісною схемою (рис. 7.7,а,в). У разі значних динамічних навантажень на прилад застосовується щільне встановлення елементів на платі (рис. 7.7,б). Перед установленням елементів проводиться спеціальне загинання кінців елементів і обрізання їх за необхідною довжиною на спеціальних пресах або круглогубцями. Після встановлення кінці виводів загинаються з метою щільного утримання елементів на платі.

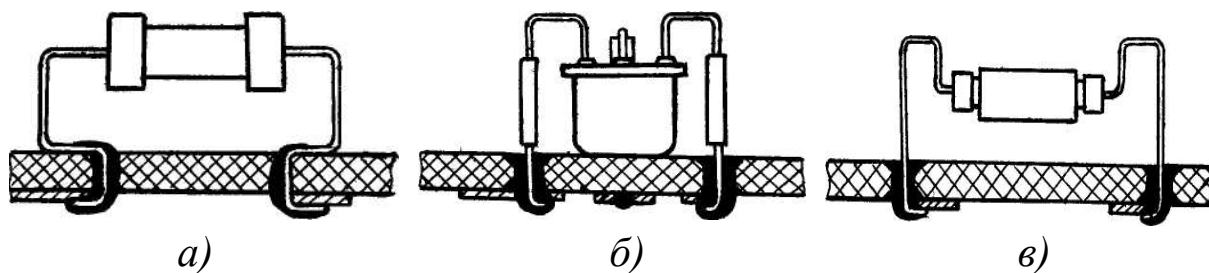


Рис. 7.7. Схеми встановлення елементів на платі:
а, в - кріплення за підвісною схемою;
б - щільне встановлення елементів

9. **Паяння друкованих плат.** Це відповідальна операція виготовлення друкованих плат, якість проведення якої визначає надійність їх роботи на об'єктах. При цьому велике значення для якісного паяння має температура паяльника, припою

та час паяння. За умов дрібносерійного виробництва, плати паяються вручну електропаяльниками потужністю 15, 45 і 60 Вт. У великомасштабному виробництві найчастіше застосовують механізоване паяння всієї плати зануренням, хвилею припою або каскадне паяння (рис.7.8).

В процесі паяння, зануренням (рис. 7.8, а) друковану плату 3 з елементами встановлюють і закріплюють у пристосуванні 2, підвішеному на вібраційній голівці - магнітострикторі 1. Плату спочатку вміщують у ванну із розплавленим флюсом (розчин каніфолі в етиловому спирті становить 40%) на 4...5 с, а потім переносять до ванни 4 з розплавленим припоєм ПОС-61 за температури $245(\pm 5)^{\circ}\text{C}$, яка автоматично підтримується електронагрівачем 5.

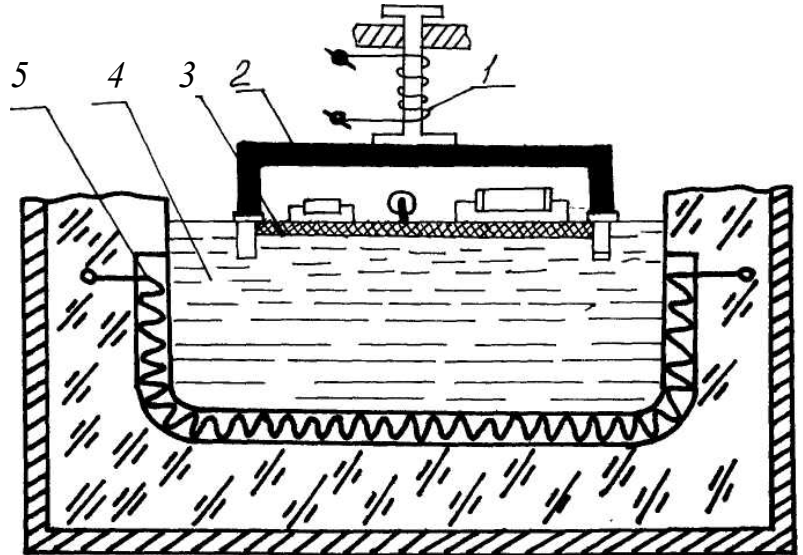


Рис. 7.8, а. Схема механізованого паяння зануренням.

Вібрація плати з промисловою частотою струму сприяє кращому проникненню припою до з'єднувальних отворів. Час паяння - 6...10 с.

Паяння хвилею припою (рис. 7.8, б) якісніше, оскільки не дає загального перегрівання плати. Розплавлений припой ПОС-61 електронагрівальною спіраллю 10 в керамічній ванній 6 прокачується насосом

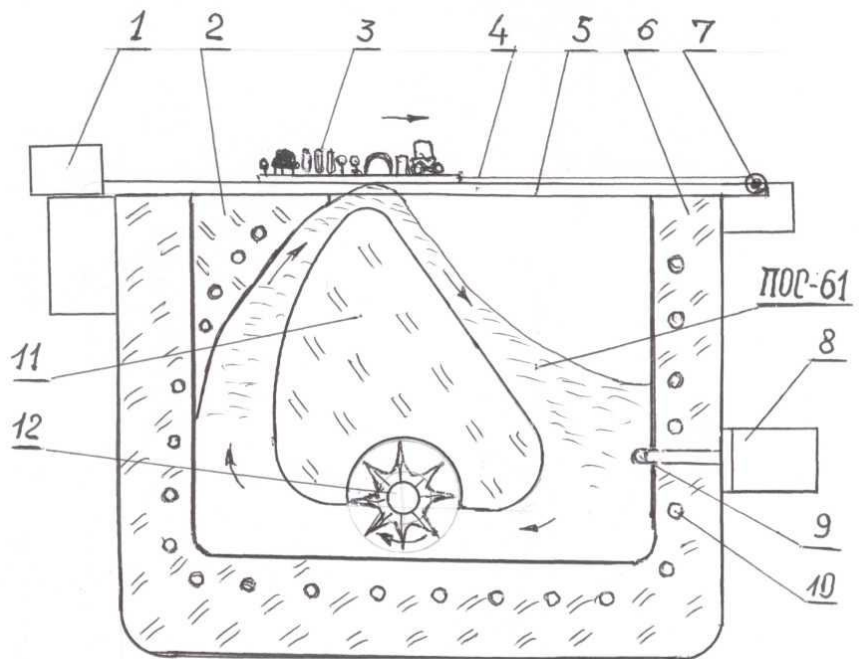


Рис. 7.8, б. Схема механізованого паяння хвилею

12 навколо профільного обтічника 11, який разом з відбивачем 2 утворює зверху хвилю рідкого припою. При цьому дуже чітко витримується температура припою в

межах $245 \pm 3^\circ \text{C}$ для підтримання його текучості в певному стані, що забезпечує якісну пайку. Цей тепловий режим підтримується автоматично за допомогою термостату 8, який регулює температуру шляхом її вимірювання термопарою 9.

Друкована плата 3 повільно протягується на траверсах 5 над хвилею припою тросиком 4 за допомогою приводу 1 і ролика 7. важливим моментом є підбір швидкостей переміщення плати по траверсам і швидкість прокачування припою насосом 12,

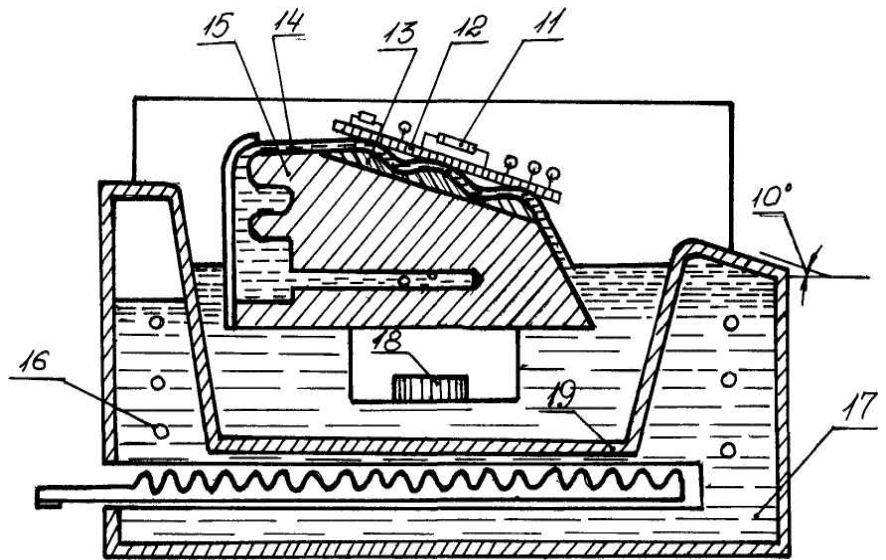


Рис. 7.8, в. Схема механізованого паяння - каскадна.

швидкісний режим якого є можливість регулювати для забезпечення якості пайки. Каскадне паяння (рис. 7.8, в) найдосконаліше, хоча й найдорожче через складність устаткування. На корпусі 15 встановлюється каскад 13 із трьох гребенів, розміщених під кутом $10 \dots 12^\circ$. Розплавлений потрібної температури ($245(\pm 5)^\circ \text{C}$) припій ПОС-61 (14) насосом 18 подається з ванни 19 на верхню частину каскаду, звідки він витікає вниз, утворюючи три хвилі, що омивають плату 12 з елементами 11, яку подають уздовж них. Потрібна температура припою підтримується розігрітою нагрівачем 16 соляною ванною 17.

Під час автоматичного паяння ділянки та провідники плати, які не підлягають паянню, закривають паперовою маскою. Така маска з паперової стрічки змочена клеєм із декстрину і має отвори в тих місцях, де буде паяння. Отвори перфоруються шаблонами. Після паяння паперова маска змивається гарячою водою, а рештки флюсу видаляють спиртобензиновою сумішшю.

9. **Контроль і покриття плат.** Виготовлені та промиті друковані плати в кінці технологічного процесу обов'язково проходять повний тестовий контроль електричних характеристик в усіх точках пайки для того, щоб встановити місця можливого поганого контакту, поганого пропаювання схеми чи температурного

пошкодження радіоелементів, особливо напівпровідникових мікросхем, чутливих до перегріву. Встановлюються також місця зайвого запливу припою, який видаляється спеціальними скребачками.

В серійному виробництві для контролю якості плат використовують ефективний метод контролю за допомогою універсального пристосування, яке зображено на рис. 7.9. На верхній рухомій плиті 8 кріпиться знизу на кронштейні 13 плата, що контролюється. На нижній плиті 1 кріпиться плата шаблон 15, на якій розташовані в визначеному місці електроконтакти – голки, за допомогою яких знімаються необхідні параметри плати, що контролюються.

Остаточно перевірене та відрегульована друкована плата покривається з боку металопровідників (зворотний відносно елементів) нітроклеєм АК-20, який захищає схему від окислення.

7.3.4. Технологія багат шарових друкованих плат

Багат шаровою друкованою (БДП) називається плата, виготовлена з кількох шарів ізоляційної основи-підкладки, на яких наноситься схема друкованих провідників, розділених проміжними ізоляційними шарами, що склеюють усю плату. На зовнішніх шарах плати встановлюють радіоелементи та мікросхеми, а загальна комутація між ними відбувається у внутрішніх шарах.

Багат шарова друкована плата дає змогу зменшити розміри друкованого монтажу внаслідок підвищення щільності розміщення елементів і скоротити трудомісткість монтажних з'єднань. При цьому добре розв'язується завдання розподілу та перетину провідників за шарами. Кількість шарів БДП визначається під час розподілу всієї електричної схеми пристрою на окремі функціональні блоки. Кожен такий блок (блок: живлення, фільтрації сигналів, їх посилення, аналізу, а також диференціюючий ланцюжок та ін.) доцільно розміщувати на окремому одному, максимум двох шарах поряд. На зовнішніх сторонах БДП звичайно розміщують лише позначення та контактні площадки для елементів.

У промисловості існує багато різних методів виготовлення БДП, головними з яких є такі: металізації наскрізних отворів; відкритих контактних площадок; виводів,

які виступають; попарного пресування; пошарового нарощування; з'єднання за фланцями пістонів; установлення пістонів і заклепок та ін. Серед них найширше застосовуються перші два методи.

1. Метод металізації наскрізних отворів (рис. 7.10, а). Технологічний процес виготовлення БДП даним методом полягає в такому. Виготовляють окремі друковані плати 1 з окремими функціональними схемами одним з описаних раніше методів: субтрактивним або адитивним. Усі плати прокладають міжшаровою ізоляцією (просоченою лаком склотканиною) та пресують БДП. Потім у потрібних місцях свердлять наскрізні з'єднувальні отвори 2 діаметром 2 мм. Для поліпшення контакту між шарами отвори плат підтравлюють плавиковою кислотою, оголюючи мідні площадки-контакти. Отвори металізуються міддю, що дає змогу з'єднати схему за шарами БДП. Елементну базу встановлюють або в ці отвори, або на додаткові контактні площадки на зовнішніх поверхнях плат. Паяння виконують вручну або застосовують лазерне мікрозварювання.

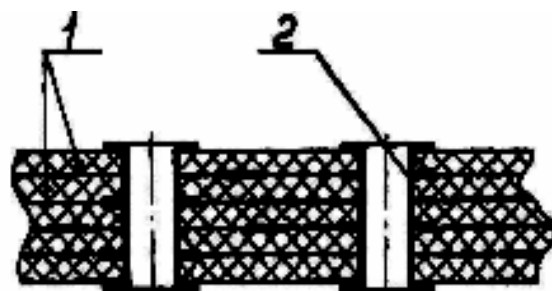


Рис. 7.10, а. Багатшарові друковані плати за методом металізації наскрізних отворів

2. Метод відкритих контактних площадок (рис. 7.10, б). Технологічний процес даного методу відбувається в такій послідовності. За допомогою описаних методів виготовляють окремі друковані плати 1. У деяких верхніх із них свердлять отвори діаметром 1,5...2,5 мм для доступу до внутрішніх шарів. Іноді до початку виготовлення металосхем виконується їх пробивання - перфорація. Потім плати просочуються лаком і пресуються. Для кращого контакту відкриті внутрішні контурні площадки попередньо лудяться, а потім в них встановлюються елементи, виводи яких у процесі паяння є з'єднувальними контактами за шарами плати.

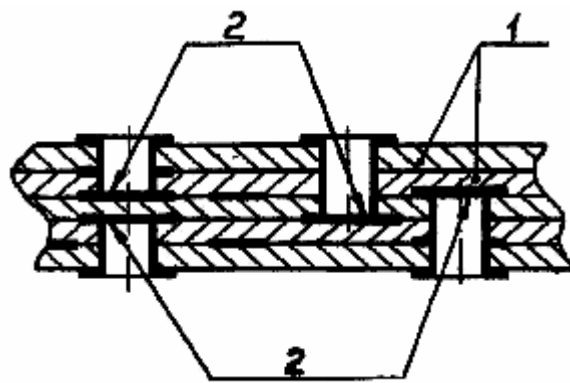


Рис. 7.10, б. Багатшарові друковані плати за методом відкритих контактних площадок

Після виготовлення БДП покривають захисним лаком. Багатшарові

друковані плати є основою для виготовлення модулів - самостійних функціональних блоків, на основі яких можна компонувати електронні системи різної складності. Модульне вирішення складних електронних систем досить перспективне і широко застосовується в приладобудуванні.

7.3.5. Мікромодульний електромонтаж

Мікромодульний електромонтаж є сучасним напрямком розвитку радіoeлектроніки, що дає змогу різко скоротити габаритні розміри електричних систем, які мають складні електросхеми з великою кількістю різних елементів і широкими функціональними можливостями. Мікромодуль - це мікромініатюрне виготовлення модуля, компоненти якого виконані у вигляді мікро- або поліелементів.

Мікроелемент є тонкою мікроплатою, виготовленою з діелектрика з виконаним безпосередньо на ній в плоскому варіанті мініатюрним елементом або встановленим на ній міні-елементом (рис. 7.11, а). У плоскому варіанті виконують конденсатори, резистори, діоди, а встановлюють згори індуктивності, дроселі, транзистори тощо.

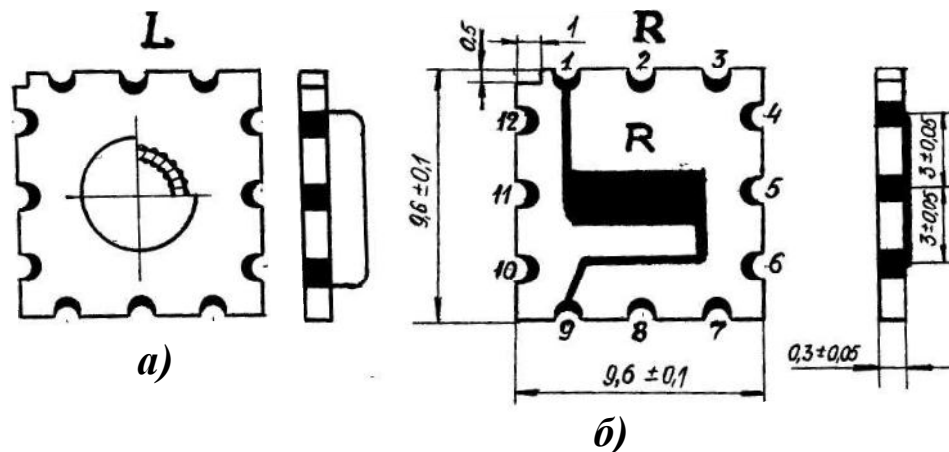


Рис. 7.11. Мікроелементи:
а - мікроплата із встановленим мініелементом;
б - мікроплата-мікроелемент

Поліелемент - це такий мікроелемент, коли на такій самій мікроплаті-підкладці розміщується плоска інтегральна напівпровідникова мікросхема, яка несе безліч електронних радіoeлементів і виконує певну функцію схем: посилення, фільтрацію сигналу, його ввімкнення або вимкнення тощо.

Основою мікромодулів є мікроплата (рис. 7.11, б) розмірами 9,6х9,6х0,3 мм, яка має в лівому верхньому куту прямокутний виріз-ключ для потрібної орієнтації плати в системі і 12 контактних пазиків, розміщених по периферії з нумерацією за годинниковою стрілкою. Кожний розміщений мікроелемент, який є на платі, має за державним стандартом підвідні та відвідні контактні пази, за допомогою яких вмикають до нього відвідні проводи, які закладають у пази. Підкладки виготовляють із конденсаторної кераміки, ситалу, ультрафарфору, стеатиту та інших аналогічних діелектричних матеріалів.

Мікроелементи на підкладках наносять через маски напиленням, випарюванням і конденсаторним осадженням, нарощуванням та іншими способами з різних металів і напівпровідників. Поліелементи утворюються аналогічно, але спочатку під метали осаджують напівпровідникову плівку, на якій виконують усю мікросхему.

У процесі складання мікромодуля потрібні мікроплати підбираються, промиваються та контролюються. Відібрані елементи та поліелементи в певній послідовності набираються до багатошарової конструкції відносно базового ключа найчастіше способом етажерки.

Під час складання способом етажерки мікроплати встановлюються в технологічні касети в певній послідовності на ключ, потім розкладаються проводи за контактними пазами та розпаюються в потрібних місцях. У намічених місцях ці проводи, вирізають між підкладками, щоб утворити певну між шарову комунікацію - об'ємну схему. У кінці процесу складання весь модуль для герметизації заливається компаундом.

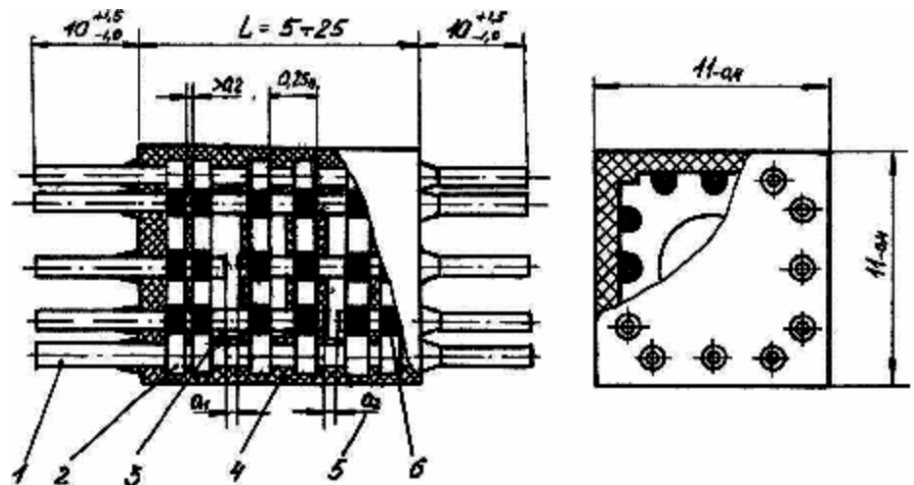


Рис. 7.12. Схема мікромодулю.

Найчастіше застосовується епоксидний клей ЕК-16Б з наповнювачем. Схему такого мікромодуля показано на рис. 7.12, де позначено: 1 - луджені провідники; 2 - крайні

плати (виготовлені в плоскому варіанті мікроелементи); 3 - об'ємні мікроелементи; 4 - компаунд; 5 – між етажні (між шарові) розрізи провідників довжиною a_1 , a_2 та ін.; 6 - контактна пайка мікроплати з провідником; n - коефіцієнт кратності, $n = 3, 4, 5 \dots$

Такі мікромодулі розміщуються між платами, які утворюють водночас каркас електронної схеми та провідникову; ці мікромодулі вмикають до периферії, в електросхему. На вивідні кінці мікромодуля 1 надіваються захисні хлорвінілові трубки.

7.4 Технологія напівпровідникових електронних мікросхем

7.4.1 Загальні поняття про сучасні напівпровідникові мікросхеми

Сучасна електроніка - одне з найголовніших досягнень технічної думки. Бурхливий розвиток автоматики на основі промислової електроніки та радіотехніки призвів до нового і ефективного наукового напрямку по створенню напівпровідникової мікроелектроніки, що виявилось справжньою революцією у всіх областях життєдіяльності людини.

Це відкрило нові можливості для розвитку та швидкого поширення комп'ютерної і мікропроцесорної техніки, мікротелефонного та космічного радіозв'язку, телекомунікації і телебачення тощо.

Сучасний розвиток техніки в будь-якій галузі промисловості, будівництва, зв'язку, космонавтики, медицини і т.д. не можливий без застосування досягнень промислової, напівпровідникової мікроелектроніки. Без неї вже неможливе подальше поліпшення характеристик об'єктів з якими людина має можливість працювати. Комп'ютерна та мікропроцесорна техніка практично вторглась в усі області життєдіяльності людини, допомагаючи або навіть замінюючи його. Вже важко уявити як можна без обчислювальної техніки вести складні розрахунки та облік всіх характеристик діяльності людини, диспетчеризації всіх видів робіт, створювати нові ефективні, автоматичні системи та величезні промислові комплекси, управляти роботою всього без винятку транспорту і всіх що рухаються

спецоб'єктів і т.д.

І надалі така мікроелектронна техніка буде основною базою для технічного прогресу в житті людства.

В основі всього цього лежить новий мікроелектронний напрямок на базі напівпровідників (НпПр), що мають унікальну фізичну властивість певних елементів в області електропровідності - пропускати електричний струм тільки в одному напрямку. Для одержання таких НпПр застосовуються два види чистих елементів із властивостями металів. Це германій - Ge і кремній Si. Вони мають 4-х валентні зовнішні атомні решітки і залежно від певних металевих мікродобавок, у вигляді мікродомішок, бувають різного виду провідності :

- електронної провідності «n», коли атоми цих елементів не мають вільних зв'язків і віддають свої вільні, не задіяні в атомних решітках, електрони і вони проходять вільно.

- діркової провідності «р», коли атоми НпПр мають по одному вільному зв'язку і добре притягають до себе вільні електрони.

Різні комбінації цих двох видів НпПр дозволяють одержати певні мікроприлади та деякі мікроелектронні схеми.

7.4.2 Технологія одержання напівпровідникових схем

Напівпровідникові елементи Ge і Si у чистому виді та необхідній структурі в природі ніколи не зустрічаються, а завжди перебувають у певних хімічних сполуках. Для одержання напівпровідникових схем потрібні зовсім чисті такі елементи і у вигляді монокристалічної структури. Тому технологічний процес складається з ряду етапів.

Перший етап. Одержання чистого напівпровідника

З германієвої і кремнієвої руди вакуумним методом індукційної плавки одержують чистий

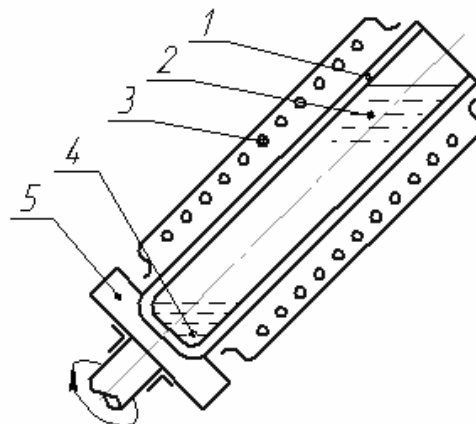


Рис. 7.13 Схема вакуумної плавки напівпровідників

НпПр матеріал у вигляді **полікристала**.

У керамічний тигель 1, у вигляді довгого циліндра, насипають розмелену руду НпПр у вигляді шихти 2 (рис. 7.13) . Потім тигель вставляють під нахилом в електрохвильову піч 3, що живиться від генератора струму високої частоти (ГСВЧ). Тигель своєю нижньою підставою впирається і утримується гніздом 5, що повільно обертається від механізму.

Розплав повільно перемішується і на дно тигеля осідають всі сторонні домішки 4. Після певного часу піч відключають, тигель виймають із гнізда і після охолодження відливають нижню її частину, де осіли домішки, відрізають. Потім процес плавки повторюють один або два рази, залежно від забруднення шихти. Таким чином, одержують чистий НпПр у вигляді полікристала, що ще не володіє ні «п», ні «р» провідностями. Щоб одержати надалі більше тієї, або іншої провідності, у розплав додають іноді мікролігуючі добавки певної суміші металів.

Другий етап. Одержання монокристалла НпПр.

Технологічний процес одержання такого монокристалла називають **виращуванням**. Для цього застосовуються в основному два методи: метод витягування кристала та метод зонної плавки.

1. Метод витягування кристала або метод Чорхальського

При цьому методі, схема якого представлена на рис. 7.14, полікристалічний НпПр розплавляють у тиглі 5 електроіндукційним нагрівачем 6. Зверху за допомогою штока 1 опускають не великий за розмірами кристал 2, що представляє собою монокристал - затравку, що щільно затиснута в штоку 1. Затравку опускають до стикання з розплавом НпПр 4 і вона, повільно обертаючись, починає підніматися також повільно, нагору. Розплав 4 захоплюється затравкою 2, витягуючись вгору разом зі штоком у грузлому стані шихти - розплаву, повільно обертаючись. При остиганні та

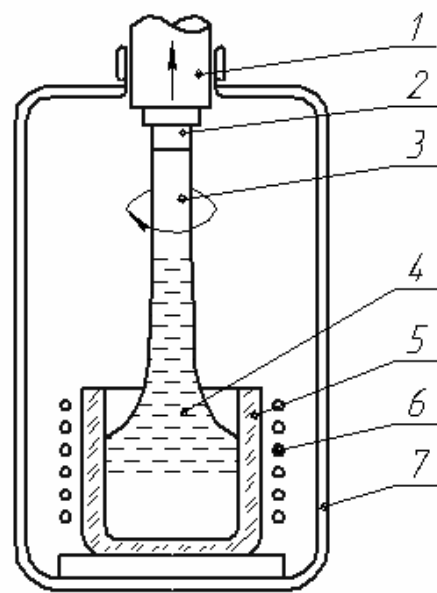


Рис. 7.14. Схема отримання монокристалла напівпровідника методом Чорхальського

кристалізації напівпровідник 4 за принципом технологічної спадковості приймає структуру затравки 2 і кристалізується в монокристалічну структуру 3. Все це обов'язково виробляється у вакуумі, щоб ні кисень, ні азот не могли потрапити в НпПр.

Таким методом можна витягати кристали діаметром до 80 мм та довжиною до метра. У розплав - шихту можна додавати мікролігуючі добавки зі сплавів металів, щоб одержати більше або «n» - провідності, або «р» - провідності.

2. Метод зонної плавки або перекристалізації.

При застосуванні цього методу (рис. 7.15.) мікролігуючі добавки можна додавати тільки при плавці першого етапу при одержанні полікристала.

Технологія перекристалізації НпПр у монокристалл полягає в наступному. До штока 1 кріпиться затравка 2 з монокристалічного напівпровідника. Знизу до неї за допомогою нижнього штока 7 щільно підтискають полікристал НпПр 6. У зоні нагрівання та в'язкої плавки 4 цей стик затравки з полікристалом підплавляється. Вся система штоків 1 і 7 із НпПр повільно починає підніматися нагору і у зоні розплаву проходить нова частина полікристала, а та, що вийшла нагору із цієї зони кристалізується по технологічній спадковості вже в монокристалічну структуру 3. Таким чином, кристал 6 проходить зону розігріву та плавки 4, що забезпечує електрохвильовий індуктор 5, перекристалізовуючись у нову монокристалічну структуру. Все це також робиться в закритій камері з вакуумом для захисту НпПр від дії повітря. Таким методом одержують більші за розміром кристали.

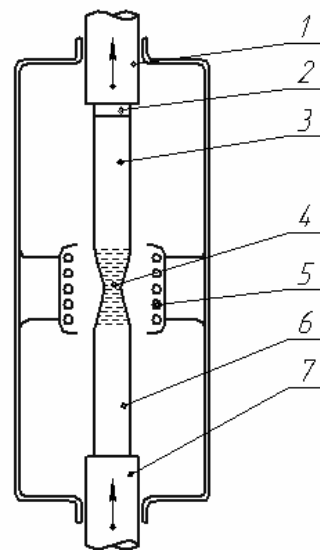


Рис. 7.15. Схема отримання монокристала напівпровідника методом зонної плавки

Третій етап. Розрізка кристала на пластини.

Для створення окремих електронних схем отриманий монокристал ріжеться на окремі пластини товщиною в 1÷2 мм різними методами.

1. Метод різання НпПр алмазними кругами.

Робота проводиться на спецстендах де періодично, автоматично подається кристал під швидкообертаючий тонкий алмазний круг з великою подачею води в

зону різання. Бронзовий диск-круг покривається зернами штучного алмаза. Головне при такій технології не перегріти монокристал НпІр, тому що припикання порушує структуру напівпровідника. Метод застарів і має низьку продуктивність.

2. Метод різання кристала набором сталевих полотен-стрічок.

Схема такого багатолезового різання показана на рис.7.16. Різання кристала 4 на пластини необхідної ширини виконується набором сталевих стрічок 3, які жорстко натягнуті в металевій рамі 2. Вона під час роботи переміщується поступально по штангах 1 у горизонтальному положенні.

Оброблюваний кристал НпІр встановлюється жорстко на призмі-підставці, виконаної у вигляді решітки 5 для вільного проходу сталевих стрічок при різанні. Постійну подачу кристала знизу нагору на ріжучі стрічки забезпечують підпірні пружини 6, встановлені на дні ванни в загальному корпусі 7. Це дає можливість забезпечити невелике та постійне зусилля подачі на весь час розрізки.

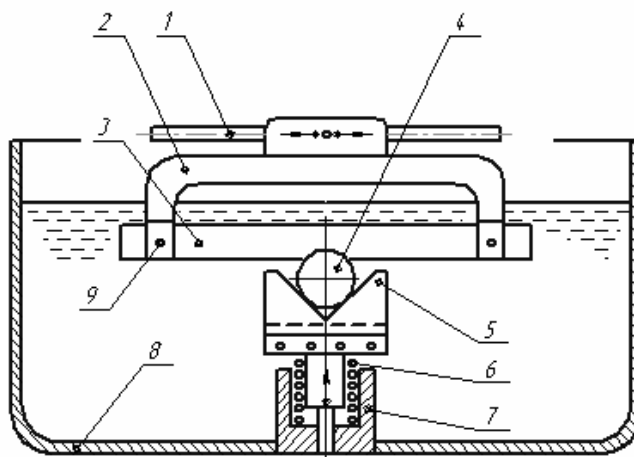


Рис. 7.16 Розрізання кристалу набором сталевих лез

Обробка виконується у ванні 8, заповненій абразивною рідиною, що складається з розмішаного абразивного порошку ельбора у воді. Ельбор має твердість, порівняну із твердістю алмаза. Гострі зерна ельбора обхвачують при різанні м'які сталеві полотна та перетворюють їх у наждаковий різальний інструмент, що затягує в область різання всі нові порції абразиву. Рідина постійно переміщується рамою, що рухається вперед і назад, де натягнуто 6 або 8 тонких полотен за допомогою натяжки 9.

Такий метод дає гарну продуктивність і хорошу, без припикань, якість поверхні різання.

3. Аналогічна за схемою обробки кристалів при їх розрізці на пластини за допомогою сталевих струн замість полотен методика застосовується в ряді країн, де число різів збільшене до 10÷12. Такі натягнуті в рамі струни при їхньому зношуванні легко протягуються із живильних катушок, як струни на гітарі. Такий

метод усуває додаткову абразивну обробку області різки пластин і забезпечує гарну чистоту обробленої поверхні напівпровідникових пластин.

4. У цей час для високоякісного різання тонких пластин великої площі стали застосовувати анодно-механічне різання в середовищі проточного електроліту з легкого лугу.

Схема різання нагадує розглянуті раніше методи, тільки рама з натягнутими в ній латунними пластинами рухається під кутом і замкнута в електрокола на «мінус», а напівпровідники з металевими властивостями на «плюс».

При цьому не відбувається механічного контакту руйнування кристала, а різання відбувається за рахунок анодного розчинення НпПр, на атомному рівні.

Такий метод малопродуктивний за рахунок хімічного процесу розчинення, але за те забезпечує високоякісне різання без механічно ушкодженого поверхневого шару матеріалу і дуже високий клас чистоти поверхні.

Четвертий етап. Хімічна обробка напівпровідників.

Після розрізки кристала напівпровідників на пластини завжди виконується їх хімічна обробка. Вона полягає в процедурі травлення цих пластин у суміші самих міцних кислот - азотної HNO_3 і плавикової (фторової) HF в однаковій пропорції.

Цим досягаються наступні цілі:

1. Видалення ушкодженого різанням поверхневого шару.
2. Одержання потрібних розмірів пластини.
3. Одержання необхідної високо полірованої поверхні, де $Ra < 0.01$ мкм.
4. Виявлення «р» або «п» переходів на поверхні пластини, причому виявляють «р» перехід.
5. Вирівнювання дислокації цих переходів по всій поверхні пластин.

Така хімічна обробка виробляється зануренням пластин у мідних сітках у мідні ванни з кислотами. Для прискорення даного процесу сітки із пластинами повільно переміщуються уздовж ванни. Періодично пластини виймають, промивають і виконують відповідні кожному вище зазначеному пункту перевірки. Виконується відбір уже готових пластин, а інші продовжують травлення до одержання потрібного результату.

Пластины монокристалла НпПр, що пройшли відповідний контроль ретельно промиваються та сортуються по провідностям.

П'ятий етап. Одержання мікроелектронних схем.

Цей заключний етап призначений для одержання електронних, напівпровідникових мікросхем і необхідної кількості мезаструктур у вигляді окремих мікроелектронних елементів, як необхідної елементної бази в плоскому виконанні.

Формування таких електронних схем і мезаструктур виробляється методами фотолітографії.

Фотолітографія.

Це фотохімічний процес із нанесенням захисних плівок-шарів і трафаретів-масок, що складається з наступних процедур (рис.7.17.):

1. Одержують після травлення чистий монокристал із “р” провідністю по всій верхній поверхні.

2. Для захисту поверхні кристала її окисляють окисною плівкою - “а” у перекисі водню H_2O_2 з усіх боків.

3. На верхню поверхню наносять світлочутливий шар - фоторезист із шелаку, аміаку та амонію - “б” низької чутливості.

4. Наносять зверху трафарет-маску з лакового барвника “в” з певними просвітами.

5. Роблять засвічення фоторезисту потужним ультрафіолетовим світлом - “г” із ртутної лампи.

6. Після змивання розчинником трафарет-маски виконують прояв і задубіння фоторезисту в спирту - денатураті в розчині нашатирного спирту, де засвічені місця

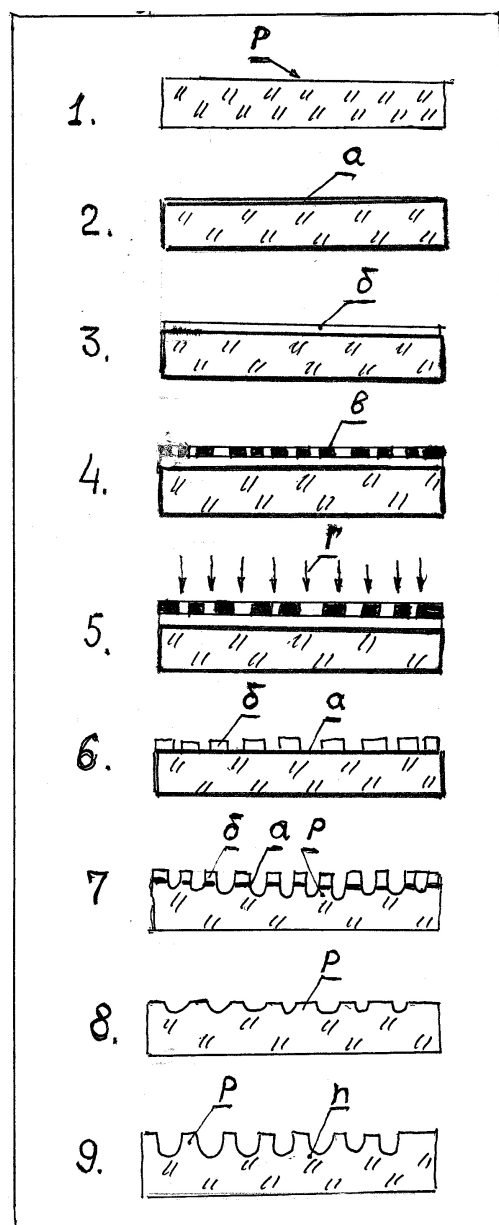


Рис.7.17. Схема етапів фотолітографії

фоторезисту розчиняються і змиваються, залишаючи плоский малюнок схеми.

7. Виконують травлення кристала в суміші азотної і плавикової кислот до появи верхнього напівпровідникового шару «р» - провідності, а задубівший шар фоторезисту не труїться цими кислотами.

8. Змивають спецрозчинником залишки малюнка з фоторезисту - «б» і окисла - «а».

9. Проводиться глибоке травлення поверхні кристала до появи в поглибленій схемі малюнка нового шару з «п» - провідністю.

Місцевим травленням або напилюванням додаткових плоских малюнків з металів або сплавів одержують мезоструктури, як електронні елементи так і електричне коло їхніх сполук. Це дозволяє одержати напівпровідникові електронні мікросхеми з окремими ділянками, що володіють певними функціональними можливостями схемної мікроелектроніки у вигляді певних блоків, зашитих потім у корпус із пластику або металу зі струмопроводами.

Необхідно відмітити, що всі ці мікроелементи і сама електросхемна проводка мають дуже малі розміри від 5 до 30 мкм і помітні тільки при великому збільшенні. Сучасні методи фотолітографії і додаткових захисних місцевих плівок і напилювання зверху додаткових металів та сплавів у вигляді електросхеми сполук і плоских електронних елементів у вигляді плоских малюнків, дозволяють одержувати до 100÷200 окремих різних мезаструктур, з'єднану в єдину електронну схему на 1 мм².

У цей час при фотолітографії замість трафарет - масок застосовують пряме засвічування фоторезисту в потрібних місцях точно сфокусованим ультрафіолетовим лазерним променем з дуже точним переміщенням цього лазера на двох координатному пантографі системою ЧПУ з точністю до 2 мкм. Одночасно можливо на вимогу засвічування регулювати товщину лазерного променя в межах від 3 до 50 мкм. Це значно спрощує процедуру фотолітографії, де трафарет - маски є самим трудомістким процесом їхнього нанесення та основним джерелом погрешностей одержання просвітів у фоторезисті.

Але широкого застосування такі напівпровідникові електронні мікросхеми не одержали через обмежені можливості таких одношарових, або максимум,

двошарових електронних схем.

7.4.3. Технологія інтегральних, багатошарових, плівкових, електронних мікросхем

Такі схемні пристрої знайшли широке розповсюдження в сучасній мікроелектроніці, тому що дозволяють створювати потужні, мікроелектронні системи з найширшими функціональними можливостями. Вся сучасна мікроцифрова схемотехніка, комп'ютери, мікропроцесори й т.п. виконані на основі такої плівкової техніки.

Це утворення складних, плоских, багатошарових, електронних мікросхем у вигляді тонких плівок з металів, сплавів, напівпровідників і окисних діелектриків на загальній плоскій підложці з діелектрика, що одержали назву інтегральних тонкоплівкових мікросхем.

Підложки з діелектрика у вигляді тонких плат, товщиною $0,5 \div 1,5$ мм, виготовляють зі спеціальних матеріалів: конденсаторної кераміки 22ХС, ультрафарфору «Полікор», сітала, стеатиту або білого, безлужного скла, як найдешевшого матеріалу, розмірами: 10×10 ; 10×12 ; 20×30 ; 20×40 ; 30×48 мм. Останнім часом стали випускати більші інтегральні схеми - БІС розміром 60×100 мм.

Такі інтегральні, багатошарові, тонкоплівкові системи із плоских малюнків електросхем і окремих електронних приладів у мікровиконанні одержують методами дифузійного напилювання або осадження через трафарет-маски.

Технологічний процес одержання таких багатошарових, тонкоплівкових інтегральних систем складається з послідовності таких процедур.

На підложку з діелектрика наносять мікро-трафарет-маску з просвітами в потрібних місцях і через неї наносять вищевказаними методами першу плівку-малюнок мікросхеми з металів або напівпровідників «р» або «п» провідності. Потім наноситься тонкий шар діелектрика з окисів алюмінію або кремнію хімічним покриттям, але в певних місцях залишаються отвори для електрозв'язку між шарами схеми.

Наноситься друга плівка з металів або напівпровідників також через трафарет-

маску також у вигляді плоскої схеми або мікроприладу. Після змивання маски розчинником, знову наносять шар-плівку з діелектрика із просвітами для електроконтакту по шарах. Такий процес нанесення трафарет-масок, осадження плівок у вигляді плоских схем або мікроприладів з металів або НпПр, потім змивання трафарет-масок і нанесення шару діелектрика повторюється багаторазово. Число електронних плоских плівок може досягати $10 \div 12$.

Закінчується такий техпроцес електроконтролем працездатності системи, мікропайкою струмопідводів та виходів, закладенням всього цього блоку в пластиковий компаунд зі своїм штекерним роз'ємом.

Найскладнішими процедурами такої технології є процеси напилювання або осадження та нанесення - накладки трафарет-масок і їх одержання в кількості шарів системи і всієї програми випуску даних інтегральних систем.

Розроблено кілька методів і пристроїв для напилювання або осадження тонких плівок. Розглянемо їх у порядку хронології розробки.

1. Катодно-дифузійне напилювання постійним струмом

Схема такої установки показана на рис.7.18. З-під скляного ковпака 3 вікачується повітря до створення певного вакууму. Герметизація ковпака забезпечується кільцевим ущільнювачем 9 з технічної гуми, наклеєним щільно і міцно епоксидом на пластиковій підставі 10. Так як для нанесення нової трафарет-маски та плівки з металів ковпак знімається, а потім встановлюється назад, канавка гумового герметизатора змочена гліцерином для повної герметизації системи.

У міцно забиту гумову пробку 2 вставлений на клей вольфрамовий стержень-катод 1. Знизу до нього кріпиться тонкостінний скляний екран 4 для обмеження робочої зони роботи установки. На кінці катода 1 кріпиться змінна пластина-«мішень» 5 з необхідного металу, сплаву або напівпровідника-монокристала, що зберігає свою технологічну спадковість після

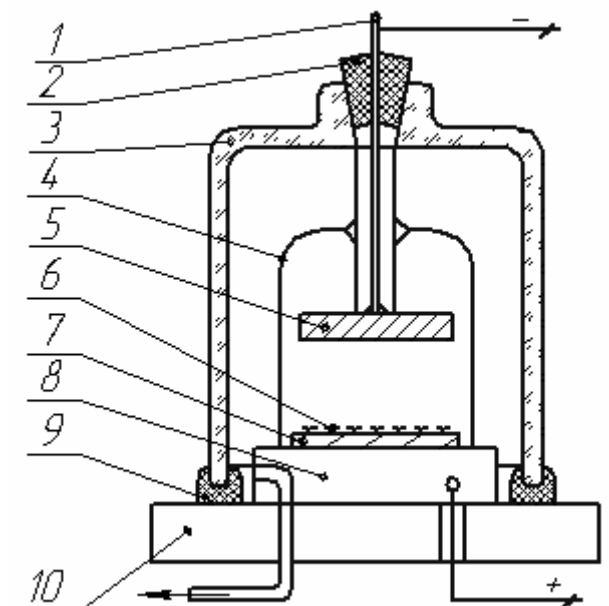


Рис. 7.18. Схема вакуумної установки для катодного напилення

напилювання у вигляді “р” або “п” провідності.

На алюмінієвій підставці-аноді 8 встановлюється підложка 7 з нанесеною на неї зверху необхідною трафарет-маскою 6.

Після включення постійного електроструму з $U=1500-2000$ вольт між катодом-«мішенню» 5 і анодом-підставою 8 створюється потужне електростатичне поле, що викликає позитивну іонізацію повітря, що залишилося, і виникнення розігрітого до 400°C розряду, що світиться позитивних іонів газу. Вони з великою енергією бомбардують мішень 5, вибиваючи з неї мікрочастинки матеріалу, які осідають потоком у вигляді тонкої плівки в просвіті трафарету-маски. При цьому на підставку 8 розміщають кілька підложок 7 для збільшення продуктивності. Процес напилювання плівки триває 3-5 годин залежно від сполуки матеріалу мішені 5 і необхідної товщини плоского малюнка.

Після проведення процедури такого дифузійного напилювання через дифузійний процес розігрітих часток металу, що напилюється або напівпровідника з поверхнею підложки або чергової попередньої напиляної плівки, система розбирається, міняється матеріал мішені, встановлюється підложка з новими трафарет-масками і процес напилювання повторюється багаторазово до повного одержання багатошарової тонкопленочної системи.

2. Катодне дифузійне напилювання змінним асиметричним струмом

Це більш досконалий і прискорений процес дифузійного напилювання плоских плівок-малюнків з металів і напівпровідників з використанням звичайного промислового електроструму в 220 вольт і частоти зміни в 50 Гц. Схема такої установки показана на рис.7.19,а. Конструктивно вона майже не відрізняється від попередньої установки. Також на вольфрамовому електроді-катоді 1 кріпляться скляний обмежуючий екран 4 і змінна мішень 5, як електрод-катод. З-під ковпака 3 викачене повітря. На алюмінієвій підставі 8 щільно укладаються підложки з діелектрика 7 з нанесеними на них змінними масками-трафаретами 6 через просвіти, у яких іде дифузійне напилювання.

На відміну від попереднього методу живлення електродів постійним струмом тут використовується звичайний змінний струмом з більш ефективним методом

осадження матеріалу мішені, що розпорошується, а це збільшує продуктивність в 2-3 рази за рахунок застосування скидного змінного струму.

Електросхема живлення такої установки складається із трансформатора Tr , де виробляється збільшення напруги в десятки разів, випрямного моста BM , що розмежовує живлення електродів на плюс і мінус. Живлення електрода-катода 1 проводиться через очисний фільтр Φ , від різних електро-перешкод і блоку варисторів $БВ$, що перетворюють негативну напівхвилю у форму струму скиду, схема якого показана на рис.7.19,б, коли варистори спрацьовують потужним розрядом негативного струму.

Між катодом-мішенню і анодом-підставою створюється потужне змінне електростатичне поле, у якому позитивні іони повітря, що залишилось під ковпаком 4 з такою ж частотою всі одночасно бомбардують мішень, вибиваючи з неї необхідний для напилювання матеріал. Це все створює більший ефект розпилення мішені та більшу швидкість дифузійного напилювання.

Після нанесення на плату одного матеріалу вся система розбирається, змінюється матеріал мішені, а на напилену плівку-малюнок наноситься, як і раніше тонкий шар діелектрика також через трафарет-маску для забезпечення електров'язку з наступною плівкою-малюнком електросхеми або мікроприладу електрики в плоскому варіанті.

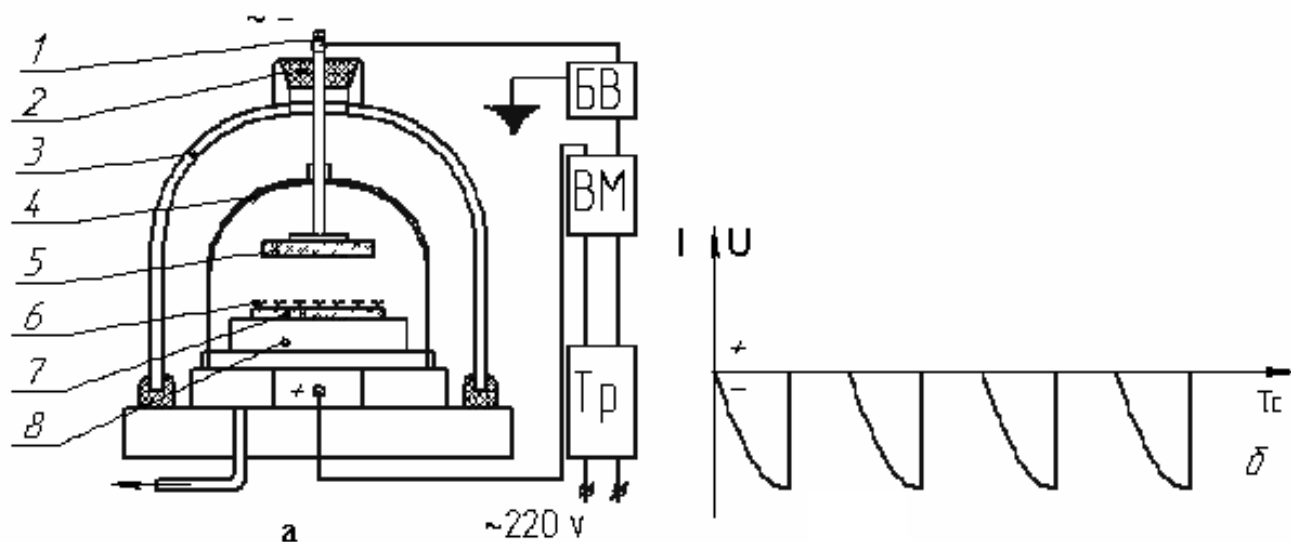


Рис. 7.19 Схема напилення змінним струмом.

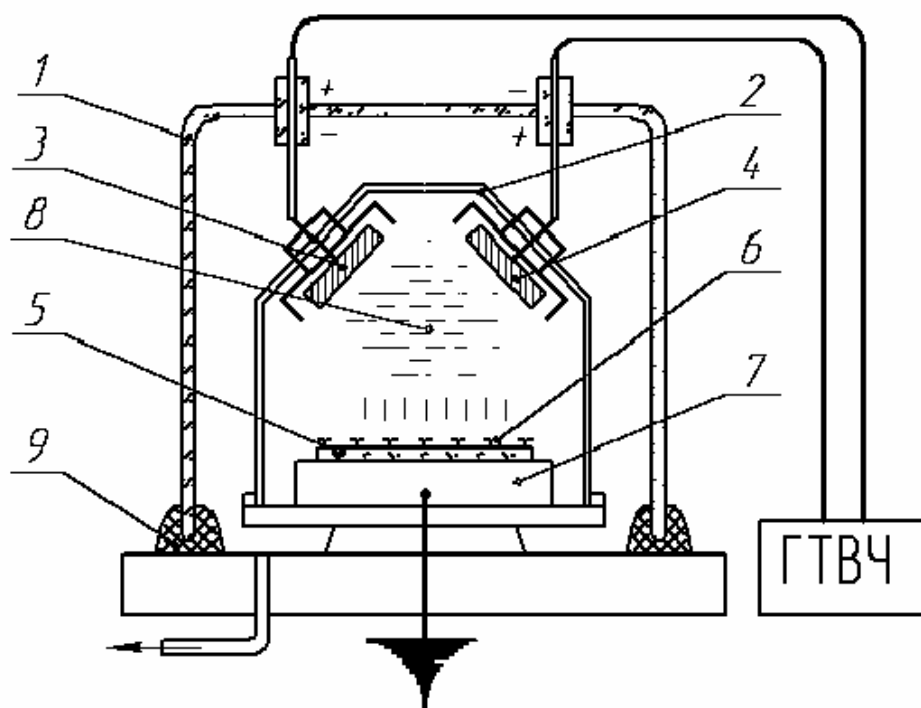
а) схема установки; б) схема асиметричного струму скиду.

3. Дифузійно-вакуумне наплення з іонно-плазмовим розпиленням

Це більш якісна і більш чиста, без газових включень, методика одержання багат шарових, інтегральних, плівкових електронних схем. Схема застосованої для цього методу установки показана на рис. 7.20.

Під скляним ковпаком 1 створюється значний вакуум за рахунок попередньої викачки повітря. У середині захисного скляного екрана 2, що обмежує робочу зону розпилення, кріпляться два електроди-мішені 3 і 4 з необхідного матеріалу: металу, сплаву, НпПр “п” або “р” провідності. За допомогою потужного генератора струму високої частоти ГСВЧ із частотою живлення $1\div 2$ КГц між електродами 3 і 4 створюється змінний плазменний розряд у вигляді іонізованого розпеченого залишкового газу 8, іони якого з великою енергією і частотою періодично бомбардують по черзі то ліву 3, то праву 4 мішені-електроди, вибиваючи з них мікро-частки необхідного матеріалу, які притягаються і напильють підложку 5 через трафарет-маску 6, тому що алюмінієва підстава 7 заземлена.

Після наплення першої плівки у вигляді плоского малюнка електронної мікросхеми або мікроприладів матеріали мішеней міняються на однотипний інший матеріал, маску-трафарет змивають і наносять шар діелектрика з окису алюмінію або кремнію знову-таки через свою трафарет-маску для забезпечення наскрізних сполучних отворів між робочими шарами плівок. Потім процедуру напильовання повторюють необхідну кількість раз.



4.Осадження парів металів електронно-променевим їх випаром

Цей метод заснований на термічному випарі металів або сплавів за допомогою потужного електронного променя великої потужності в повному вакуумі з наступним осадженням цих парів за допомогою магнітів на плати з діелектрика через трафарет-маски за аналогічною технологією їхнього нанесення. Схема такої установки показана на рис.7.21.

На підставку встановлюють тигель 1 з вольфраму або чистого вуглецю, температура плавлення яких близька до 3000°C , заповненого необхідним для осадження металом, сплавом або напівпровідником. На розташованих навколо тигеля стійки 12 з алюмінію, кількість яких буває від 6 до 12, укладають підложки з діелектрика 10 з нанесеними на них трафарет-масками 9 зі спецлака.

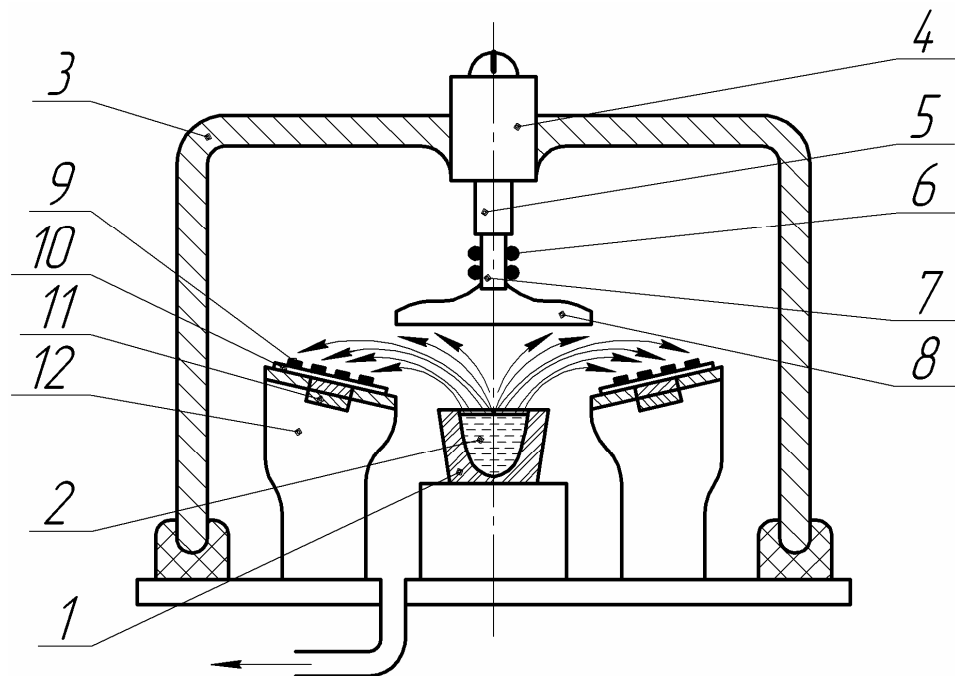


Рис. 7.21 Схема установки з електронно-променевим випарюванням металів

Все це накривають зверху свинцевим корпусом 3, тому що потужне електронне опромінення небезпечно своєю радіацією. Вгорі корпуса кріпиться електронна гармата 4 з концентратором 5. У направляючій трубці 7 електронний промінь фокусується магнітними лінзами 6. На трубці підвішений скляний або алюмінієвий екран 8 для обмеження робочої зони випару металів.

За допомогою такого потужного електронного променя виконується розігрів і випар металів або сплавів, де зона опромінення розжарюється до температури в

2500⁰ С. Пари піднімаються нагору і за допомогою магнітів 11 осідають на підложці через трафарети-маски. При цьому ведеться постійна відкачка газу з-під корпуса 3.

У такий спосіб одержують за раніше описаною технологією високоякісні, багат шарові, інтегральні схеми.

5.Осадження парів металів у вигляді плівок конденсатним методом

Це сучасний і більш екологічно безпечний метод одержання складних інтегральних мікросхем із застосуванням індукційного, електрохвильового розігріву і випару необхідних для мікроплівок металів, сплавів або напівпровідників з наступним осадженням цих парів у вигляді конденсатних тонких плівок. Схема установки для такого методу показана на рис.7.22.

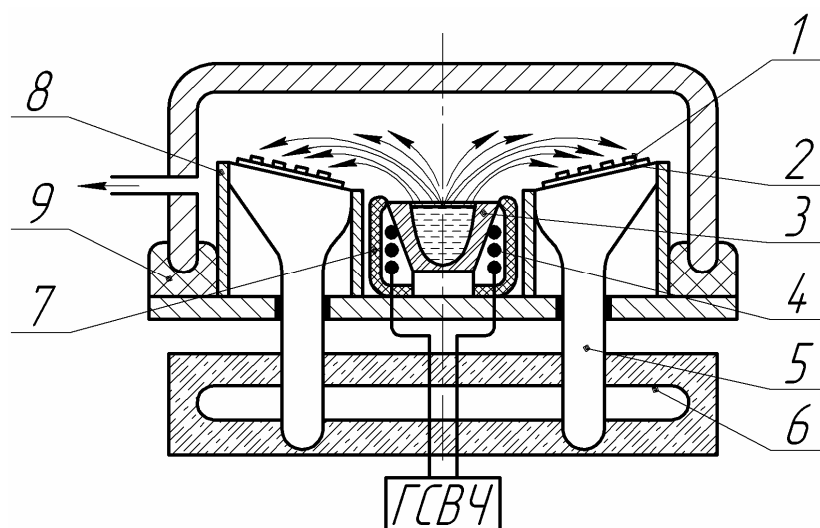


Рис. 7.22 Схема установки з індукційним випарюванням металів та конденсаторним їх осадженням

На міцній металевій плиті стола, на підставці встановлюється змінний тигель 3 із чистого вуглецю, заповнений необхідною масою металів, що при роботі розігрівається електрохвильовим методом за допомогою потужного індуктора 4, закритого металоекраном і тепловим ізолятором з асбестокераміки 7. Навколо них розташовуються від 4-х до 8-ми алюмінієвих стійок 5, також теплоізольованих азбестовими екранами 8. Стійки під плитою розташовані в єдиній підставі з металу і все це перебуває у фріоновому холодильнику 6.

На стійки 5 укладаються підложки 2 з нанесеними на них змінними трафарет-масками 1. Вся система закривається скляним ковпаком, що герметично ізолює внутрішню порожнину за допомогою кільцевого гумового ущільнювача-ізолятора 9.

Після викачування з-під ковпака повітря в роботу включається індуктор 4, що

живиться від ГСВЧ. Сконцентроване в центрі тигеля тепло розігріває і випаровує необхідний метал, пари якого відразу осідають на дуже холодні підложки та стійки.

Міняючи тигелі з різними металами, сплавами або напівпровідниками, міняючи трафарет-маски на підложках можна одержати різної товщини плівки у вигляді плоских малюнків, за часом осадження конденсату. Ці плівки, як було відзначено в попередніх технологіях, ізолюються плівками з діелектрика і процедура осадження нового матеріалу повторюється багаторазово до одержання готової інтегральної мікросхеми з необхідною кількістю шарів.

7.4.4. Контроль інтегральних мікросхем

Кінцевий контроль якості виготовлених багатошарових, тонкоплівкових, інтегральних схем виконується перевіркою їх правильної і точної роботи шляхом виміру відомих показників працездатності на вихідних характеристиках даної електронної системи.

Але для підвищення надійності процесу одержання таких якісних схем у період запуску нового виробу, на його перших екземплярах кожна напиляна або осаджена плівка перевіряється під мікроскопом при великому збільшенні на точність системи. Найчастішу погрішність такого процесу одержують через неправильно виконану або дещо зміщену маску-трафарет. Точність виконання цієї маски таким методом контролю можна перевірити. Але надалі при їх нанесенні можливі зсуви через погрішності трафарет-масок.

В даний час їх намагаються накладати з перевіреної партії по придатності на світловий просвіт, що проводиться автоматичною системою аналогового порівняння малюнка просвіту зі зразковою схемою контрольного трафарету. Але це не усуває випадкових погрішностей зсуву придатної маски при її накладенні на підложку, де зсуви більше $3\div 5$ мкм вже не припустимі.

Більшими можливостями глибинного контролю перших багатошарових інтегральних схем по точності розміщення мікросхем і окремих мезаструктур - приладів мікроелектроніки відносно один одного по вертикалі, по шарах, володіє рентгеноскопія, яка проводить наскрізне зондування всієї мікросхеми по всіх шарах

плівок.

Схема такої рентгеноконтрольної установки наскрізного зондування і перегляду відразу всіх шарів інтегральної мікросистеми з автоматичним аналізом придатності мікроструктур цих плівок показана на рис.7.23.

На вигнутій двоплечій рамі-важелі 1 по одній оптичній осі розташовані рентгеновипромінювач 2 малої потужності і рентгено-приймач 8 у вигляді відомих екранів проектування зображення. Під рентгенопроменем, спрямованим під певним кутом α , який спеціально налаштовується, по однорідному скляному столику 4 переміщається, з періодичними зупинками на певних відрізках шляху, тонка платформа-каретка 5, на якій точно зафіксована готова інтегральна, багат шарова плата 6. Переривчасте точне переміщення каретки зі визначеним, але змінним кроком шляху і зупинками під рентгенопроменем, забезпечує кроковий серводвигун 7 з точністю фіксування кроку до 1 мкм.

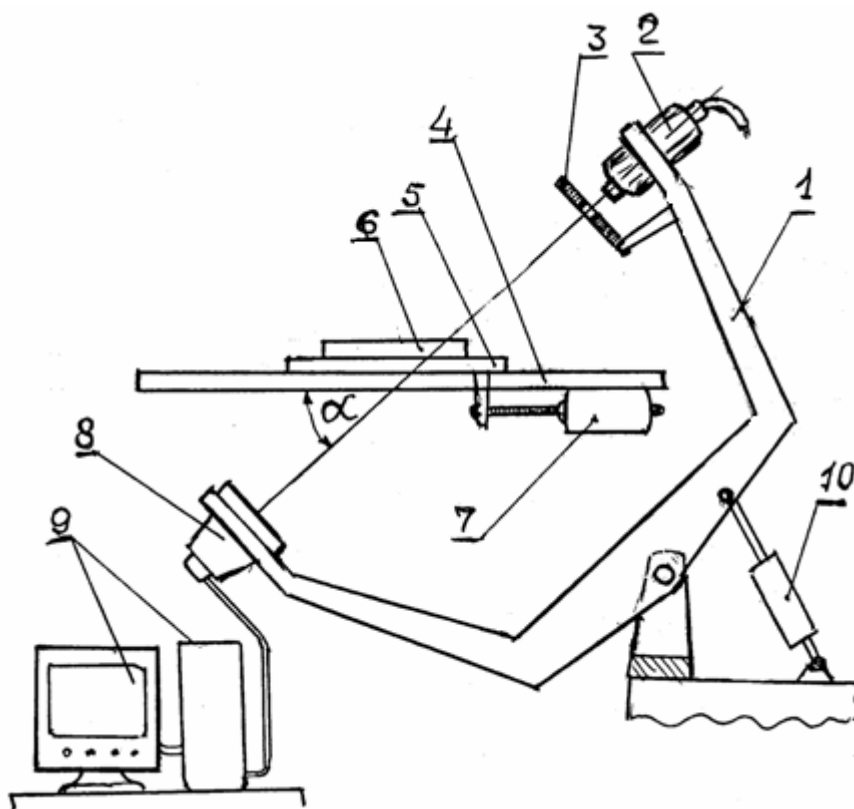


Рис. 7.23. Схема контрольної установки для перевірки мікроплат рентгеноскопією.

Рентгенопромінь із джерела проходить через свинцеву щілинну діафрагму 3 і, освітивши наскрізь плату 6 у потрібному місці, передає отримане зображення мезаструктур по її шарах на екран рентгеноприемника 8. З нього це зображення при зупинці плати 6 передається на процесор комп'ютера 9, що аналізують придатність

зображення методом порівняння його зі зразковим, відповідним зображенням, яке заздалегідь міститься в програмі керування контрольною системою при просвічуванні придатного зразка даної інтегральної схеми.

При певному рівні збігу цих зображень, як допуску на придатність, комп'ютер включає в роботу серводвигун 7 для подальших переглядів і порівнянь на наступних кроках. Однак, при виявленні не припустимої неузгодженості в якій-небудь точці зображення, комп'ютер зафіксує це у своїй пам'яті і на поточному листку контролю. Таку помилку потім можна переглянути спеціально під більшим збільшенням і визначити причину браку.

Кут перегляду рентгенопроменем регулюється спеціальним пристроєм 10, а число кроків перегляду, що може досягати декількох сотень, закладає експерт-технолог залежно від розміру таких інтегральних мікросистем. На такій установці рентген-зондування також перевіряють точність і придатність трафарет-масок.

7.4.5. Технологія виготовлення мікро-трафарет-масок

Раніше вже згадувалось, що такі маски є вузьким місцем в якісному забезпеченні інтегральних мікросхем, від якості виготовлення яких і точності накладення їх на плату-підложку прямо залежить точність одержання мікросхем на плівках.

На кожен шар плівкової схеми і діелектрика потрібна своя певна трафарет-маска, що є технологічним елементом разового використання, тому що після нанесення через неї металоплівки-малюнка така маска розчиняється і змивається.

Тому кількість таких трафарет-масок велика і дорівнює величині програми випуску інтегральних мікроелектронних схем певної конструкції, помноженої на число необхідних шарів плівок з металів і напівпровідників, а також шарів діелектриків. Кожен новий метал, сплав або напівпровідник наноситься за допомогою своєї маски. Через це при більших програмах випуску виробів від ручного нанесення таких мікро-масок через технологічні трафарет-маски вже відмовилися.

Сучасні мікро-трафарет-маски являють собою тонкі, органічні, тверді плівки з

малюнком необхідних просвітів. І вони вже мають свою власну технологію одержання і високі вимоги по показниках якості відносного розташування елементів маски та точності повторення своїми просвітами електронної мікросхеми або малюнка окремого мікроприладу в плоскому варіанті.

Одним із прогресивних методів виготовлення просвітів у трафарет-масках, для осадження через них відповідних матеріалів, є випалювання цих просвітів за допомогою електронного потужного променя. Схема такої установки показана на рис.7.24.

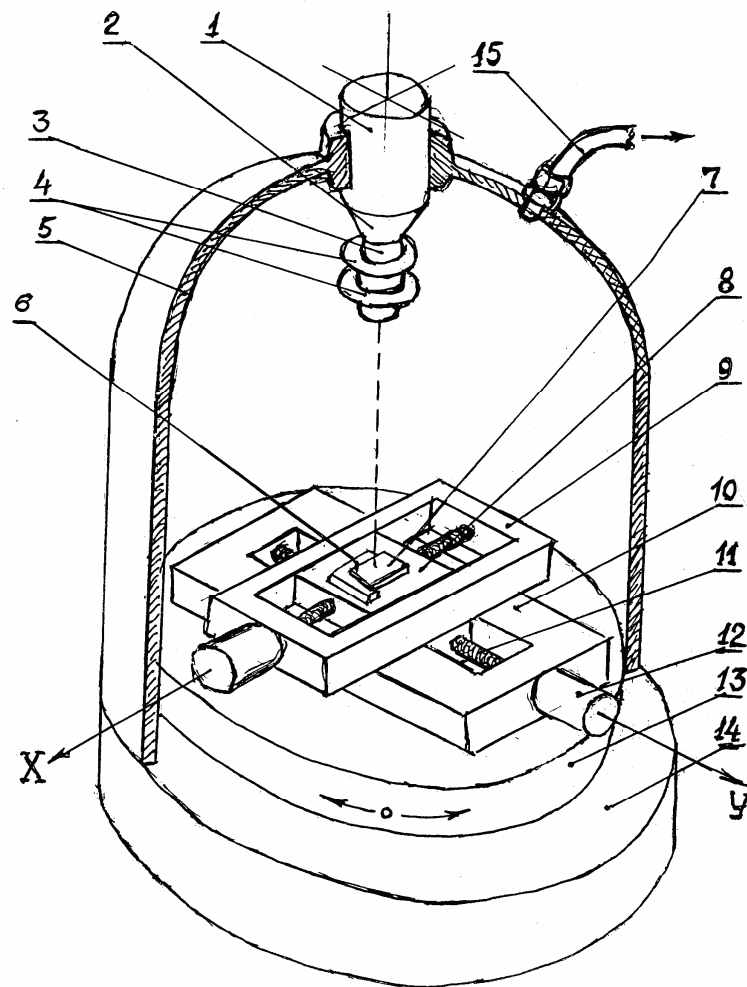


Рис.7.24. Схеми установки для отримання мікро – Трафарет - масок

За допомогою потужної електронної гармати 1 одержують електронний промінь, що концентрується в концентраторі 2, фокусується в тонкий по перетину промінь магнітними лінзами 4 і направляється трубкою 3 на пакет заготовок мікро-масок 7. У пакет укладається до 20-ти плівок для масок, який точно орієнтується при установці і кріпленні по установному куточку 6, що дозволяє позбавити з такою схемою всіх шести ступенів волі і забезпечити точність фіксування до $1\div 2$ мкм

кожної плівки для маски.

Точне переміщення пакета масок під пропалюючим променем, по координатах X-X і Y-Y і можливістю руху по дузі забезпечує високо точна крокова система переміщення. Вона має дві рамки по осях переміщення. Верхня рамка 9 за допомогою точного, крокового п'єзодвигуна 12 і точного мікрометричного гвинта 11 може переміщатися по поздовжній осі Y-Y по рамці 10 з точністю до 1 мкм. Усередині цієї верхньої рамки 9 по поперечній осі X-X точно переміщується каретка 8, що рухає свій такий же кроковий двигун, як і 12, через мікрометричний гвинт. Одночасно система рамок може повертатися на будь-який точний кут від нуля до 90^0 С з точністю до 15 кутових секунд.

Загальне керування переміщеннями виконується з відомих систем числового програмного керування (СЧПК) по заздалегідь закладеній керуючій програмі з комп'ютерним керуванням.

Пропалюючий промінь випаровує матеріал оброблюваних плівок точно по всій глибині пакета. Щоб не було спікання між плівками при пропалюванні, їх попередньо змазують тонким шаром гліцеринового вазеліну, що потім змивають після обробки і розбирають весь пакет плівок. Для безпеки роботи вся система закрита свинцевим кожухом 5.

Глава 8. ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ

8.1. Особливості складання оптичних приладів

Із загальної множини існуючих приладів в окрему групу можна віднести оптичні прилади, виробництво яких дуже специфічне.

Оптичними називаються такі прилади, основні робочі функції вимірювання в яких виконують оптичні пристрої або системи на основі різноманітних перетворень світлового потоку. Такі прилади широко застосовуються в різних галузях науки, техніки та народного господарства: фізиці, біології, медицині, матеріалознавстві, астрономії, геодезії, космічній і військовій техніці, технологічних процесах контролю якості виробів та ін. Через те й прогрес розвитку оптичного приладобудування безперервно пов'язаний з найновішими досягненнями в цих галузях.

Оптичні прилади(ОП) можна поділити на оптико-механічні та оптико-електронні. Оптичне приладобудування почалось з оптико-механічних приладів. У них різні світлоперетворення та потрібні зображення одержують за допомогою систем скляних оптичних елементів (лінз, призм, дзеркал, світлофільтрів тощо), які розташовані та переміщуються на потрібну відстань в механічних пристроях. До таких приладів належать, наприклад, зорові труби, біноклі, окуляри, мікроскопи, фото- та кіноприлади з фокусуючими об'єктивами, теодоліти, геліометри, коліматори тощо. Усі вони працюють як візуальні пристрої в діапазоні видимого спектра світла, крім зорових труб нічного бачення, які працюють у діапазоні інфраспектра (так зване теплове бачення), та квантових приладів оптики, оснований на використанні різних, квантових генераторів-лазерів усіх можливих потужностей і конструкцій.

Останнім часом набуло бурхливого розвитку оптико-електронне приладобудування з перетворенням світлової енергії світлопотоку на електричну за допомогою фотооптичних елементів. При цьому в таких системах

використовуються всі діапазони світлового спектра, як видимого, так і інфрасвітла, та ультрасвітловий спектр. Перетворення світлового потоку у відповідні електричні сигнали дає змогу за допомогою електронних систем одержувати різноманітні прилади автоматичної реєстрації та вимірювання, автоматичного регулювання та керування. Величезне значення має впровадження таких приладів у систему зв'язку, що різко збільшує його можливості.

Загальна тенденція сучасного розвитку оптичного приладобудування так само, як і інших приладів, - зменшити габаритні розміри, підвищити точність роботи, розширити функціональні можливості - ускладнює конструкції пристрою. Все це ускладнює технологічний процес виготовлення таких приладів. Наявність оптичних елементів у системах створює додаткові труднощі на виробництві через істотну специфіку та особливості складання й регулювання виробів.

Специфіка виробництва ОП пояснюється тим, що під час роботи вони використовують певні перетворення світлового потоку, який складається із світлових хвиль, довжина яких обчислюється ангстремами, тисячними частками мікрометрів. Через те найменша неточність взаємного розміщення оптичних поверхонь, їх геометричні похибки чи забрудненість призводять до-порушення нормальної роботи оптичної системи, відхилення світлового потоку, його розсіяння, дифракції, інтерференції світлових хвиль, флуктуації, нерізкості проектування зображення тощо. Разом з тим усі оптичні пристрої мають складну структурну будову із складними багатоланковими розмірними ланцюгами, на точність яких, також впливають фізичні характеристики оптичних елементів. Технологія виготовлення цих елементів завжди пов'язана з неминучими виробничими відхиленнями їх якісних або розмірних характеристик, які призводять до великих сумарних похибок складання.

Тому перша особливість складання ОП - великий обсяг регульовально-доводочних робіт, додаткових перевірок і юстирування (під юстируванням розуміють потрібне встановлення всіх оптичних елементів системи на одну оптичну вісь у певних фокальних площинах і точках), що дозволяють-компенсувати похибки виготовлення.

Друга особливість складання ОП - наявність особливих складальних оптичних

баз, відносно яких відбувається точне просторове встановлення оптичних елементів. При цьому використовуються не тільки поверхні деталей, а особливі геометричні місця проходження або перетину світлових променів: оптична вісь, фокальна точка, фокальна площина, площина проектування зображення, точка заломлення, площина відбивання світло потоку тощо. Точне їх просторове знаходження та фіксування, точне взаємне розміщення оптичних елементів під час складання та юстирування відносно цих баз, регулювання характеристик усієї системи неможливі без застосування спеціальних оптичних, технологічних пристроїв (візирів, коліматорів, автоколіматорів і т.п.), які різко ускладнюють технологічний процес складання, регулювання та контролю продукції, яку випускають. Робота на таких вторинних технологічних приладах дуже трудомістка і вимагає високої кваліфікації складальників-операторів.

Третьою особливістю складання ОП є велика чутливість оптичних і оптико-електронних елементів до забруднення, дії на них зовнішніх атмосферних умов. Наявність у повітрі вологи та особливо парів із присутністю жирних, кислотних або лужних елементів навіть у малих дозах призводить до утворення на поверхнях оптичних деталей різних за щільністю плівок, що діють, як світлофільтри, спотворюючи роботу приладів. Це потребує особливої стерильності складальних і регулювальних процесів, організації складної системи промивальних і висушувальних процесів, особливого транспортування та зберігання оптичних елементів, змащувати які категорично заборонено.

Усі зазначені особливості складання ОП вимагають особливої організації та побудови складальних цехів і дільниць, додаткової площі під регулювально-юстирувальні та контрольні роботи, високої культури праці. Тому виробництво ОП завжди більш трудомістке та дорожче, ніж інших приладів аналогічної складності.

8.2. Складання та кріплення оптичних елементів

8.2.1. Промивальні процеси за складання оптики

До оптичного виробництва, як зазначалось, висуваються підвищені вимоги

щодо стерильності складальних деталей і складальних дільниць. Виробництва, що випускають оптичні прилади, звичайно розміщені у великих містах, які мають порівняно низькі екологічні показники щодо забрудненості навколишнього середовища. На самих виробництвах ці показники ще більше погіршуються через наявність додаткових джерел забруднення атмосфери: утворюваний масляний туман від різного верстатного устаткування, яке перекачує під час роботи машинне масло, дим і пари, утворювані в ході ливарних, штампувальних і зварювально-паяльних процесів, вентиляційне устаткування та наявність протягів, які переносять пил, дими, пари та інші шкідливі компоненти повітрям. Усе це призводить до забруднення повітря на складальних дільницях кислотно-лужними, жировими та іншими речовинами, незважаючи на герметизацію цих дільниць. Можливі також біологічні утворення у вигляді найдрібніших грибових спор за наявності близько розташованих органічних речовин; картону, дерева, паперу, фарб тощо. Усі ці речовини, осідаючи, на поверхні оптичних елементів, крім того, що змінюють їх світлопропускні характеристики, вступають у хімічні реакції з продуктами розпаду поверхневих шарів оптики, спричиняючи згубну для елементів корозію та затемнення. Тому на оптичних підприємствах велику увагу приділяють не лише підтриманню стерильності складальних цехів, а й промивальним процесам, кількість яких при цьому набагато більша, ніж за складання кінематичних ланцюгів приладів.

Усі металеві елементи оптичних приладів багаторазово промивають авіаційним бензином і спиртобензиновою сумішшю. Іноді застосовують негорючі розчинники: тетрахлоретан, трихлористий етилен тощо. Іноді цей процес виконується в спеціальних вентиляційних камерах автоматично.

Процес очищення оптичних поверхонь складається з двох етапів. Спочатку виконується хімічне очищення поверхні розчиненням жирової оксидної плівки розчинниками(звичайно сумішшю із 80% петролейного ефіру та 20% етилового спирту – ректифікату). М'якою батистовою серветкою чи ватним тампоном, змоченим у даному розчині, кілька разів промивають оптичні поверхні до остаточного зникнення помутнів і ореолів, які спостерігаються у відбитому світлі під час повертання елементів під кутом до світла. Після промивання поверхні протирають насухо серветкою. Далі видаляють з поверхні ворсинки, порошинки та

інші частинки білячими, кунцевими, борсуковими або спеціальними лавсановими пензлями з м'яким ворсом. Протиральний матеріал (серветки та гігроскопічну вату) знежирюють кип'ятінням у 1%-вому розчині соди у воді протягом 2 год. Увесь цей матеріал, інструменти та промиті деталі зберігаються під скляними ковпаками.

Потрібно обов'язково пам'ятати, що промивання оптики повторюється після кожної складальної операції на незахищених поверхнях. Якщо промиті деталі пролежали навіть під ковпаками понад, добу, то перед тим, як складати їх, виконується профілактичне протирання та очищення.

8.2.2. З'єднання оптичних деталей

У процесі складання об'єтивів, окулярів, конденсорів та інших оптичних пристроїв часто з'єднують окремі оптичні елементи в блоки за певними робочими поверхнями. Такі з'єднання іноді, виконуються вільними, рознімними, як, наприклад, у разі складання невідпо-відальних конденсорів, що їх застосовують для розфокусування джерела світла та одержання рівномірного за щільністю світлопотoku.

Звичайно оптичні з'єднання виконують нерознімними, найчастіше склеєними, що дає змогу крім підвищення міцності блока усунути утворення місцевих повітряних зазорів і пор. Через неминучу наявність на оптичних дотичних поверхнях геометричних похибок виготовлення (хвилястості, несферичності тощо) або мікронерівностей шорсткості контакт між з'єднуваними поверхнями виходить за окремими точками. Повітряні порожнини, що виникають, під час роботи приладу спричиняють різні аберації світлопотoku.

Технологічний процес одержання склеєного з'єднання виконується в такій послідовності. З'єднувані лінзи 1 та 2 (рис.8.1) ретельно промивають, піддають візуальному контролю для того, щоб уникнути помутнінь,

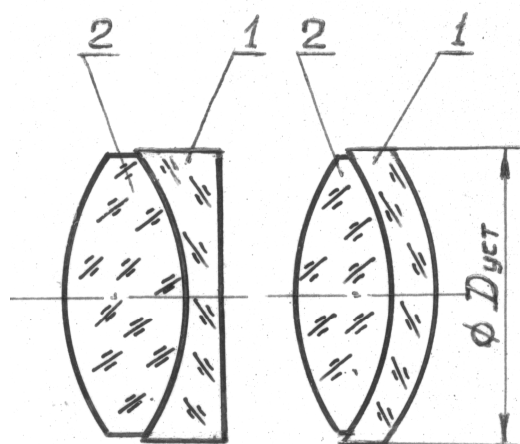


Рис. 8.1. Схема з'єднання лінз за допомогою склеєного з'єднання

забруднень або пошкоджень, і попередньо стикують поверхнями, щоб перевірити правильність контакту. Лінза 1, що має установочну поверхню $D_{уст}$, яка дещо перевищує за розміром інші деталі, називається основною, а лінза 2 - неосновною. На угнуту або рівну поверхню однієї з лінз пластиковим пензлем наносять краплю клею в центрі поверхні. При цьому використовують спеціальні оптичні клеї ОК-60, ОК-72Ф або бальзаміни, які мають після полімеризації світлопропускні характеристики, наближені до оптичного скла. Лінзи щільно стискають вручну так, щоб із центра клей рівномірно витиснути з усіх боків за діаметром. Після протирання витисненого клею з'єднаний блок установлюють у технологічну несправжню оправу за установочною діаметральною поверхнею $D_{уст}$ та юстирують складений блок. Таке юстирування оптичного блока виконується за рахунок певного ковзного зміщення лінзи-2 відносно лінзи I у в'язкому контакті клею. Юстирування, або центрування, оптики виконується за допомогою спеціальних приладів - коліматорів. Правильно відрегульований блок вміщують у термошафу, де витримують у горизонтальному положенні потрібний для полімеризації клею час за підвищеної температури 60...80 °С.

Іноді оптичні елементи з'єднують адгезійним спіканням. На одну з дотичних поверхонь наносять алюмінієву плівку товщиною 0,06...0,15 мм залежно від розмірів елементів. Після стикування деталей і потрібного юстирування блока через металоплівку пропускають великий електричний заряд. Через підвищений опір плівки температура різко підвищується до 350...450°C, плівка плавиться і відбувається активне електроадгезійне спікання поверхонь під стисканням.

Аналогічно з'єднують призми та інші оптичні елементи. Якщо в оптичному блоці кілька елементів, то процеси з'єднування та юстирування виконують послідовно відносно основного елемента. Завершується процес з'єднання оптичних деталей операцією контролю на дефектоскопах на відсутність повітряних зазорів і пор.

8.2.3. Установлення та кріплення оптичних елементів у оправках

Щоб забезпечити правильне розміщення оптичних деталей у приладі та їх

кріплення, застосовуються металеві корпуси різної конструкції, які називаються оправами. При цьому кожний функціональний оптичний елемент і блок має свою оправу; їх потім складають в єдину оптичну систему в корпусі приладу. Певним розміщенням таких оправ, їх певними зміщеннями регулюються характеристики системи, центруються та юстируються окремі вузли на спільну єдину оптичну вісь системи.

Процес складання оптичних пристроїв починається з установлення оптичних деталей в оправу. Щоб уникнути забруднень і пошкодження лінз під час цієї процедури, треба надівати оправу на оптичні деталі, встановлені на відповідні підставки (рис. 8.2). Пластмасова чи металева підставка 4 має вгорі угнуту сферичну поверхню, покриту замшевою підкладкою 3. На вкладену в заглиблення лінзу 2 обережно надягають оправу 1. Аналогічно оправу 1 надягають, на блок оптичних лінз 2 (рис. 8.3), накладених на проміжні кільця 3. Такий блок попередньо складається стовпчиком на підставці 4, а після надягання, оправу весь елемент затискають пальцями руки й обережно перевертають оправою вниз.

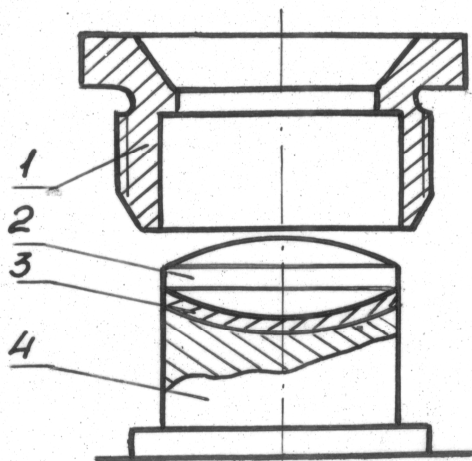


Рис. 8.2. Схема установки линзы в оправу

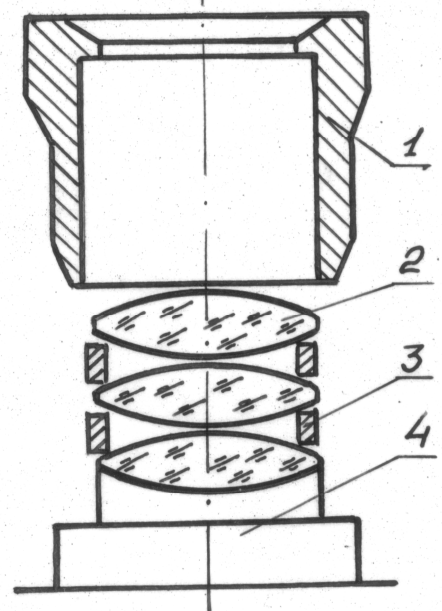


Рис.8.3. Схема одягання оправы на блок оптических линз

Метод кріплення оптичних елементів у оправах зумовлюється складністю та точністю роботи приладів, умовами їх експлуатації. Найчастіше застосовуються такі методи: кріплення нарізними притискними кільцями; завальцьовування оправ; кріплення пружними розрізними дротяними кільцями; кріплення планками;

встановлення оптики на клей.

1. Кріплення, нарізними кільцями.

Такий метод кріплення широко застосовують для одержання оптичних пристроїв - оправ із лінзами будь-яких розмірів. Перевага цього методу полягає в тому, що він універсальний і простий, забезпечує хороше кріплення. Схему такого встановлення та кріплення показано на рис. 8.4. Лінза 1 встановлюється описаним раніше способом в оправу 4. На лінзу накладається латунна запобіжна шайба 5, а потім закручується кріпильне нарізне кільце 2. У відповідальних випадках стопоріння такого кільця від розгвинчування або пломбування складання виконується засвердлюванням вузла та встановленням стопорного гвинта 3.

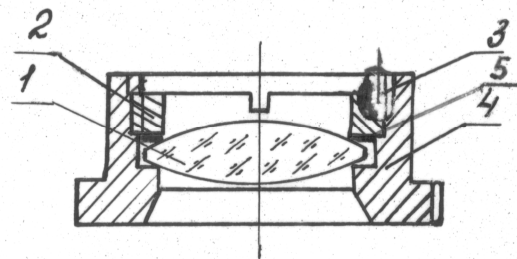


Рис.8.4. Схема кріплення лінзи нарізними кільцями

За цього методу кріплення лінз особливу увагу приділяють зусиллю загвинчування кільця. Недопустимо перетискати лінзи, щоб запобігти перенапруженню у склі; перенапруження призводить до спотворення світлопроникності або до руйнування елемента за температурних деформацій. Для закручування кільця застосовують спеціальну пальчикову викрутку-пелюстку з двома жалами. Перед остаточним складанням вузла виконується контрольне стискання кільця з оправою та перевіряється потрібне зусилля закрутки кільця вхолосту. В процесі складання вузла зусилля контролює робітник-складальник.

Для складних оптичних вузлів, у схемі яких міститься кілька лінз 2, встановлених жорстко на проміжні кільця 3 в одній оправі 1 (рис.8.5), кріплення описаним методом жорстким нарізним кільцем не рекомендується. Наявність

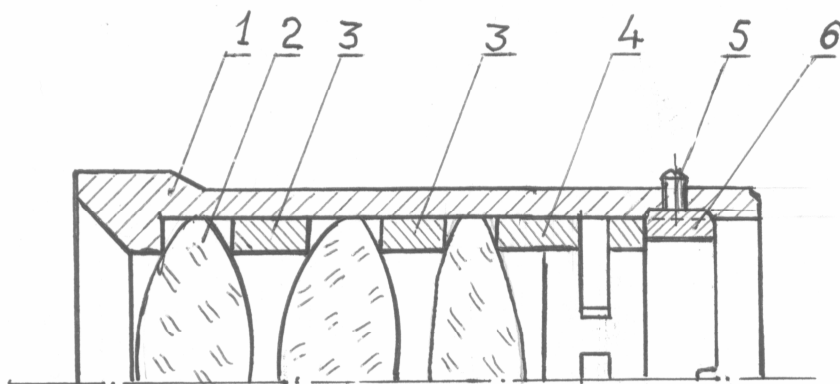


Рис. 8.5 Схема кріплення блока лінз в одній з оправі

у цьому разі ланцюжка деталей з різними фізичними властивостями та значною

сумарною похибкою складання робить цей метод неефективним. При цьому важко визначити потрібне зусилля закрутки кільця 6, а за значних термодеоформацій через відмінність коефіцієнтів температурного розширення може виникнути перенапруження та руйнування вузла. Тому для компенсації цих факторів у систему вводять додаткове компенсаційне пружне кільце 4, яке встановлюють між останньою лінзою та нарізним кільцем 6. Такий пружний елемент виконують із сталі або дюралюмінію; він складається з двох окремих кілець, з'єднаних між собою трьома невеликими перемичками-стояками. Ліве кільце, яке притискає лінзи, має три виступи у вигляді-невеликих секторів контакту зі склом. Ці виступи зміщені відносно перемичок на кут 60° , що дає змогу лівому притискному кільцю за рахунок відгину секторів контакту з останньою лінзою оптичної системи компенсувати деформації. Перевага такої схеми полягає також у тому, що під час експлуатації блок лінз постійно підтиснутий пружною силою деформації. Можливе також встановлення стопорного гвинта 5.

2. Кріплення –завальцьовуванням лінз в оправі.

Такий метод кріплення оптичних деталей в оправі також широко застосовують для виготовлення нескладних окулярів. Він ґрунтується на пластичному деформуванні задньої кромки оправы 1 (рис. 8.6). Для цього на оправі спеціально виготовляють певної форми гостру кромку, розміри якої визначаються шириною h монтажної фаски на лінзі 2, що її встановлюють в оправу. Ширина h вибирається з нормалей згідно з розмірами лінзи та виконується на останній попередньо шліфуванням під кутом 45° .

У дрібносерійному виробництві, яке не має для таких операцій спеціальної оснастки, процес завальцьовування деформуванням буртика оправы виконується на спеціальних токарних верстатах під час складання. Оправу з лінзою кріплять у цанговому патроні на шпинделі верстата, який, працюючи, обертається з частотою $2 \dots 3$ об/с.

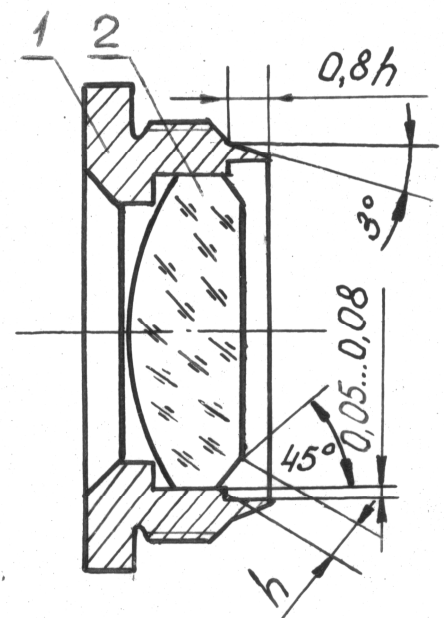


Рис. 8.6 Схема оправы та лінзи для кріплення

Пластичне деформування загортанням буртика на фаску лінзи виконується ручним полірувальником у вигляді сферичної сталеної головки на металевому квадратному держаку значної довжини. Різцетримач на супорті верстата використовується як опора важеля держака полірувальника, утримуваного робітником, який регулює зусилля деформування так, щоб уникнути пошкоджень оправки та лінзи.

У великосерійному виробництві для даної операції використовують спеціальні вальцювальні роликові головки (рис. 8,7), а сам процес виконується на настільних свердлильних верстатах. У шпинделі верстата кріпиться робоча оправка-корпус головки 1, в кінці якого на спеціальних стояках 3 встановлено розгортувальні ролики 2 під кутом 45° до горизонту.

Кількість роликів вибирається залежно від розміру лінзи та оправки. Оправка 4 з лінзою кріпиться в цанговому патроні пристрою, встановленого на столі верстата. Роликова головка обертається з частотою 5...6 об/с і повільно вручну згори подається на оправку. При цьому дуже важливо регулювати осьове зусилля тиску головки P на буртик оправки для того, щоб не викликати надмірних зусиль затиснення лінзи. Для чутливішого осьового навантаження розгортаючих роликів під час вальцювання іноді застосовують спеціальні пристосування з ручним важільним подаванням цанги з оправою знизу. Це особливо ефективно при закріплюванні малих оправ, коли видимість кромки, яку вальцюють, невелика.

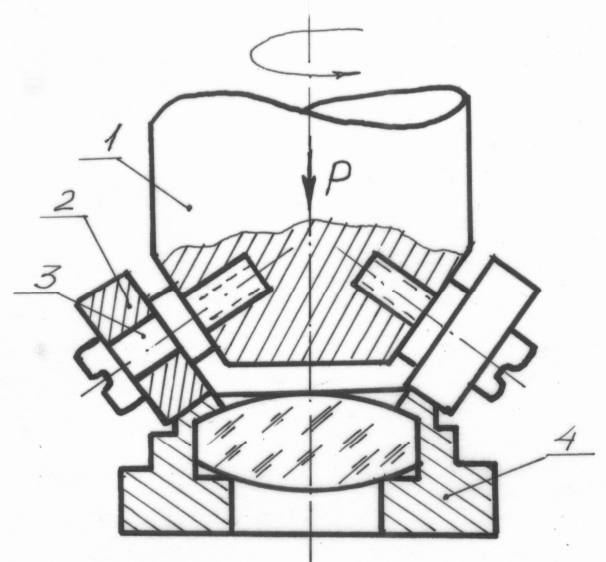


Рис. 8.7 Схема кріплення лінз завальцюванням в оправі

Для чутливішого осьового навантаження розгортаючих роликів під час вальцювання іноді застосовують спеціальні пристосування з ручним важільним подаванням цанги з оправою знизу. Це особливо ефективно при закріплюванні малих оправ, коли видимість кромки, яку вальцюють, невелика.

3 Кріплення розрізним пружним кільцем.

Даний метод часто застосовується для кріплення оптичних елементів. Він дуже простий і має низьку трудомісткість складання. Недолік методу полягає в тому, що він не забезпечує точного фіксування з'єднаних деталей і тому використовується для встановлення та кріплення допоміжних елементів оптичної системи, таких як світлофільтри, діафрагми, захисні стекла та дзеркала, екрани тощо.

Схему такого кріплення показано на рис. 8.8. Для цього методу оправа виготовляється з внутрішнім проточуванням, параметри якого вибираються згідно з діаметром дроту пружного кільця. Якщо діаметр дроту взяти таким, що дорівнює d то ширина проточування дорівнюватиме d а глибина має не перевищувати $0,5 d$.



Рис. 8.8. Схема кріплення лінз розрізним кільцем

Розміщення проточки канавки в оправі вибирається за шириною оптичного елемента. Кільце з вуглецевої сталі оксидується і має розріз. У стисненому стані до стикування кінців проводу зовнішній діаметр кільця має бути меншим за внутрішній діаметр оправы D а в розтисненому стані розмір кільця має значно перевищувати діаметр проточки.

Процес складання простий. Після промивання елементів у оправу вкладають оптичну деталь, а стиснене кільце накладають на неї і розпускають. Розтиснене пружними силами кільце западає в канавку і кріпить оптику.

4. Кріплення оптики клеєм.

В оптичних приладах оптичні елементи часто кріпляться до металевих оправ та основ за допомогою клейового з'єднання. Застосування цього методу значно спрощує конструкцію оптичного вузла, зменшує його габаритні розміри. Такі з'єднання герметичні, але погано розбираються і не дають змоги виконати додаткове регулювання та юстирування. Оскільки у з'єднанні наявні органічні клейові матеріали, виконувати промивання та очищення оптики треба дуже обережно через можливість порушення кріплення розчинниками.

Для кріплення оптики з металевими оправами звичайно застосовують епоксидні клеї ОК-40 і ОК-50, які мають хороші міцнісні характеристики та малу хімічну активність. Недолік таких клеїв полягає в тому, що вони дають жорстке напруження в місцях стику з'єднання. Це призводить при асиметричному заливанні клею або за значних термодеоформацій вузла, до перенапруження оптики або навіть до місцевих руйнувань.

Тому в приладах, які мають легку оптику та працюють за умов значних температурних коливань навколишнього середовища, частіше застосовують

еластичніші клеї, такі як поліуретановий ПУ-2, або бакелітові УТ-32 та УТ-34, які на виробництві називаються герметиками.

Кріплення лінз в оправі за допомогою такого методу відбувається за двома схемами. Якщо лінзу встановлено в глибокій оправі, застосовують схему із заповненням простору клеєм між опорним буртиком оправи та лінзою (рис.8.9). У цьому разі клей проникає в зазор між деталями за установочним діаметром. Якщо лінзу встановлено в короткій оправі, сумірній з товщиною оптичного блока, то застосовують другу схему встановлення. У цьому разі клеєм змащують зовнішні діаметри лінз і заповнюють фаску на останній лінзі оправи так, як показано на рис.8.10.

Технологічний процес виконують в такій послідовності: промивають і знежирюють деталі; встановлюють оптики в оправу; наносять клей пластмасовою паличкою в зазори по периферії лінзи; змочують посадочну поверхню лінзи клеєм (або він затікає на упорний буртик оправи за рахунок повертання оправи за утримування нерухомої лінзи, коли клей проникає в посадочний зазор); фіксують та притискають деталі в потрібному положенні; виконують температурне витримання до остаточної полімеризації клею; промивають поверхні від затікань клею.

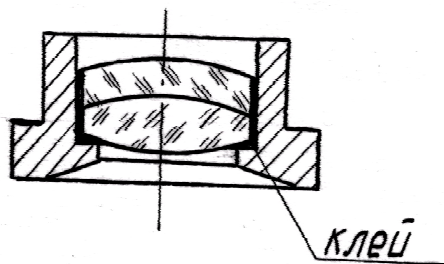


Рис. 8.9. Схема кріплення лінзи клеєм у глибині оправи

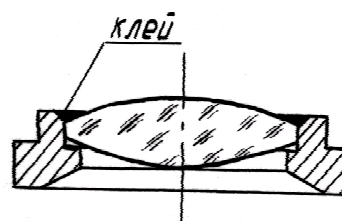


Рис. 8.10. Кріплення лінзи клеєм в короткій оправі

Виконуючи останній перехід, треба оберегти місця кріплення від розчинника.

Найбільшого поширення даний метод кріплення оптики дістав у процесі складання різних призм і дзеркал, які мають установочні поверхні, що не беруть участі в роботі. Залежно від того, які ці неробочі поверхні, схеми



Рис. 8.11. Схеми кріплення оптики клеєм

кріплення можуть бути різними (рис.8.11).

5. Кріплення оптики планками. Даний метод в основному застосовують, для встановлення та кріплення призм на свої основи або корпуси. При цьому можуть застосовуватись кілька варіантів такого кріплення, які відрізняються за конструкцією та технологією складання. Найчастіше застосовують кріплення жорсткими або пружинними планками замиканням.

Кріплення жорсткими планками точніше, жорсткіше та надійніше, застосовують у точних і складних оптичних системах. Цей спосіб має вищу трудомісткість складального процесу, ніж інші, але гарантує високу точність встановлення оптики. На рис. 8.12

показано схему кріплення пентапризми таким способом на основі, яка має свої установочні складальні бази фіксації відносно загального корпусу приладу (на схемі їх не показано, оскільки вони є простими штифтами-фіксаторами або точними отворами під них).

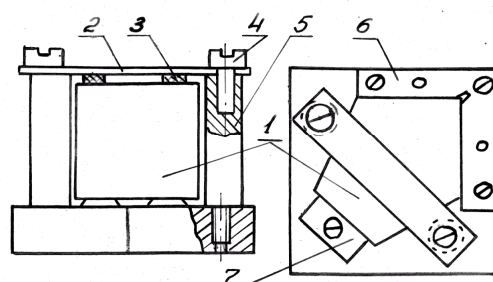


Рис. 8.12. Схема кріплення пентапризми за допомогою жорсткої планки

Пентапризму 1 встановлюють на контактні виступи основи і орієнтують фіксуючим кутиком 6. Потім у спеціальному пристрої-стенді виконують потрібне юстирування призми відносно базових елементів основи за рахунок відповідного зсуву фіксуючого кутика за базовою основою. На цей час кутик 6 ще не заштифтовано і він має певну свободу зміщення в зазорах гвинтів. Коли необхідне положення призми знайдено, отвори засвердлюють, розгортають і під штифти на кутику та запресовують. Потім остаточно затягують кріпильні гвинти на кутику 6.

Після промивання елементів призма 1 притискається до кутика притисною планкою 7 і кріпиться жорсткою планкою 2 за допомогою гвинтів 4, загвинчених у стояки 5, які встановлено попередньо на основі. Щоб забезпечити еластичне затиснення призми та усунути в разі, термодеоформацій перенапруження в склі, під планку 2 підкладають капролактамові або фіброві прокладки 3.

Спосіб встановлення та кріплення призми за допомогою пружних планок

продуктивніший і простіший, але не забезпечує високої жорсткості вузла та точності юстирування, тому його застосовують у простих за конструкцією візуальних приладах. При цьому можуть застосовуватись дві схеми, показані на рис. 8.13. На рис. 8.13, а затискна планка 3 кріпиться пружним замиканням, а на рис. 8.13, б таку планку прикріплено гвинтами.

Процес складання вузла за схемою, зображеною на рис. 8.13, а, такий. Промиту призму 1 вкладають на базові місця корпусу 4. На грань призми кладуть гумову прокладку 2. Пружну планку 3 одним кінцем заводять під обмежувач корпусу, притискним зусиллям деформують на грані призми і розворотом другий кінець замикають під її обмежувач.

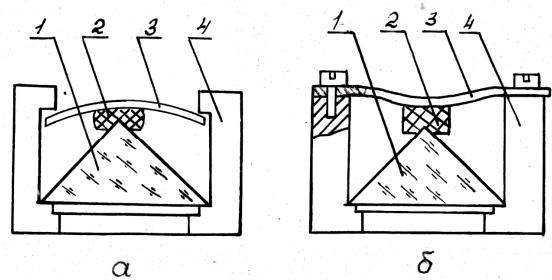


Рис. 8.13. Схема кріплення призм за допомогою пружних планок

У разі застосування схеми, показаної на рис. 8.13, б, призма 1 щільно затискається в корпусі 4 пружною планкою 3, що кріпиться гвинтами. Як і в першому випадку, для усунення жорсткого контакту під планку 3 встановлюють гумову прокладку 2.

Юстирування призм за таких методів кріплення можливе лише переміщенням корпусу 4 під час остаточного складання системи. Останні дві схеми кріплення лінз компенсують динамічні навантаження та значні термодформації.

8.2.4. Контроль зусилля кріплення оптики

Технологічний процес складання оптичних деталей має таку особливість: з одного боку, в разі такого складання треба забезпечити точне та жорстке розміщення оптики відносно установочних без механічних елементів, а з іншого за жорсткого кріплення таких оптичних деталей недопустиме їх значне навантаження силами кріплення, оскільки підвищується внутрішнє напруження в склі. Такі напруження потворюють його світлопропускні характеристики, що порушує необхідне формування світлового потоку та точність оптичних систем. Тому для

технологічного процесу складання оптичних приладів після операцій кріплення оптичних елементів введено міжопераційний контроль щодо перевірки допустимих напружень у них силами кріплення. Для цього застосовують різні методи.

Широко застосовуються поляризаційні дефектоскопи, основані на поляризаційному ефекті, тобто на зміні світлопроникності за рахунок явищ поглинання або заломлення світлових хвиль у пучку поля-ризованого світла. Схему такого дефектоскопа показано на рис.8.14,а.

Принцип контролю в разі застосування такого дефектоскопа такий. Оправу 1 із закріпленою в ній лінзою, яку перевіряють, встановлю-ють на предметне скло 2 столика приладу і через лінзу пропускають поляризоване світло з

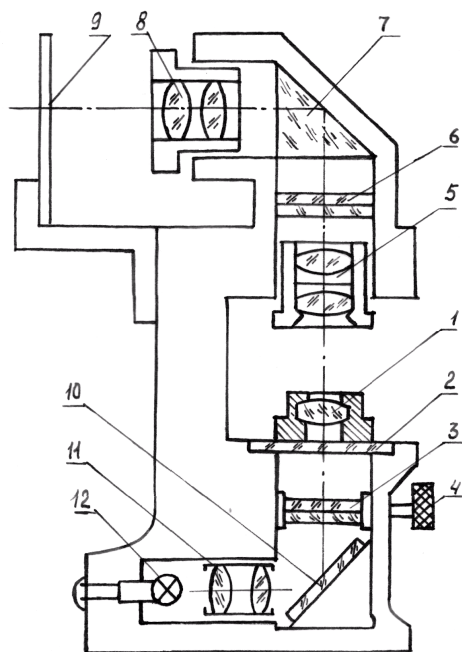


Рис. 8.14, а. Схема поляризаційного дефектоскопа

жорсткою хвильовою характеристикою, який іде тільки прямолінійно і без дифракції. Світло від джерела 12 формується конденсором 11 рівномірним густим світловим потоком, який, відбиваючись від дзеркала 10, проходить крізь поляризатор 3 та контрольовану лінзу 1. Гвинтом 4 можна керувати поляризатором, вибираючи необхідні характеристики поляризованих світлових хвиль залежно від оптичних властивостей лінзи.

Далі світловий потік із жорсткою хвильовою характеристикою проходить крізь окуляр наведення на різкість 5, який настроюють за змінювання вигляду лінзи, яку перевіряють, через аналізатор 6, повертається призмою 7 і за допомогою об'єктива 8 освітлює екран 9. Залежно від виду поляризатора-аналізатора екран освітлюється або синім, або фіолетовим фоном. За відсутності в лінзі, яку перевіряють, напружень на екрані проектується рівномірно освітлене коло. Якщо в контрольованому об'єкті є недопустимі напруження, то у відповідних місцях освітленого кола з'являються світлові розводи, смуги або затемнення.

Для контролю напруження в лінзі застосовують також автоколімаційний метод, в основу якого покладено спотворення відбитого зображення. На рис. 8.14, б показано схему такого дефектоскопа. Лінзу 1, яку перевіряють, в оправі встановлюють на столик приладу 2. Світло від джерела 8 формується конденсором 7 в рівномірний світловий потік і за допомогою діафрагми 6 спрямовується вузьким променем крізь напівпрозоре дзеркало 5 і об'єktiv 3 на контрольований об'єкт. За допомогою об'єктива 3 вибирається відображення світла від верхньої поверхні лінзи 1 і крізь окуляр 4 можна спостерігати на дзеркалі 5 це зображення у вигляді відблиску.

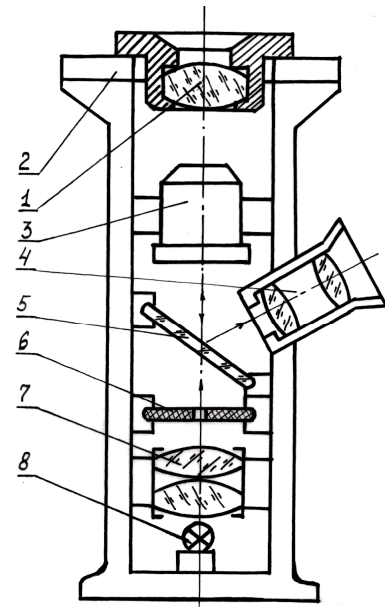


Рис. 8.14, б. Схема автоколімаційного дефектоскопа

Якщо в оптиці, яку перевіряють, немає напружень, то зображення світлого відблиску буде у вигляді правильного концентричного кола. За наявності в лінзі надлишкового напруження від зусилля кріплення зображення відблиску втрачає концентричність і коло спотворюватиметься тим більше, чим більші такі напруження в склі.

На основі останнього методу розроблено систему напівавтоматичного лазерного контролю зусилля кріплення, де за зображенням відблиску слідує ПЗЗ-матриця (прилад зарядового зв'язку) з великою кількістю вічок твердотілих фотоелектричних мікрокристалів, які фіксують рівень засвічення вічок і ступінь розходження отриманого відблиску від концентричного кола.

8.3. Центрування лінз

8.3.1. Основні поняття про децентрування

Однією з важливих операцій при складанні оптичних елементів є центрування лінз в оправі.

Центруванням лінзи (або блока лінз) називається процес зведення центрів кривини всіх оптичних поверхонь до однієї осі, яке називається оптичною і збігається з геометричною віссю оправ, що служить далі основною складальною базою системи. Зміщення центра кривини поверхні лінзи з оптичної спільної осі називається децентруванням цієї поверхні. Децентрування призводить до відхилення світлового потоку, яке проходить крізь лінзу, спотворює зображення, знижує точність роботи приладу. Тому процесу центрування лінз в оправах приділяють стільки уваги, скільки юстируванню.

Технологічні процеси виготовлення оправ і лінз завжди супроводжуються великою кількістю виробничих похибок. Так, оправы оброблюються в механічному цеху на кількох послідовних операціях із необхідною зміною базових установочних поверхонь, між якими немає жорсткого зв'язку щодо точності взаємного розташування оброблюваних поверхонь. Тому базова поверхня самої оправы завжди зміщена відносно установочної поверхні лінзи. Ці зміщення величиною 0,03...0,05 мм проявляються у вигляді паралельних зсувів осей або у вигляді їх кутових розворотів.

Лінза також виготовляється в оптичному цеху на кількох послідовних операціях шліфування, притирання, полірування на різних верстатах із різними кінематичними схемами взаємодії інструмента з деталлю. У процесі виконання таких операцій виникають похибки появи кривини сфер, зміщення їх центрів відносно установочного кола. Дані похибки можуть досягати десятих часток міліметра або градусів, у перерахунку на кутові величини. Застосовувані методи контролю за цими похибками недосконалі та неточні.

Під час складального процесу в разі кріплення лінзи в оправі виникають додаткові похибки їх взаємного зміщення через наявні зазори та несиметрії сил кріплення. Загальна сумарна похибка зміщення центра кривини сфери лінзи відносно базової осі оправы від усіх операцій виготовлення та складання визначається як сума векторів

$$\overline{\Delta}_{\Sigma} = \sum^n \overline{\Delta}_i, \quad (8.1)$$

де $\overline{\Delta}_i$ - кожна первинна похибка; n - кількість похибок у технологічному

процесі.

Навіть за умови, що похибки випадкові, їх абсолютне значення може досягати 0.1...0,3 мм, що не задовольняє вимог щодо точності оптичних приладів.

При такому складанні лінзи з оправою можливо отримати такі похибки (в оптиці вони звуться - аберациями) – децентрування, як взаємне зміщення оптичної осі лінзи відносно осі оправы. Оптична вісь лінзи O_1O_2 формується центрами кривизни сфер цієї лінзи, а геометрична вісь оправы O_0O_0 визначається зовнішню установочною поверхнею – діаметром $D_{уст}$. При складанні цих елементів завжди виникають похибки зміщення їх осей у вигляді децентрування, яке буває кутовою аберацияю, представлена на рис. 8.15, а, або лінійною – рис. 8.15, б.

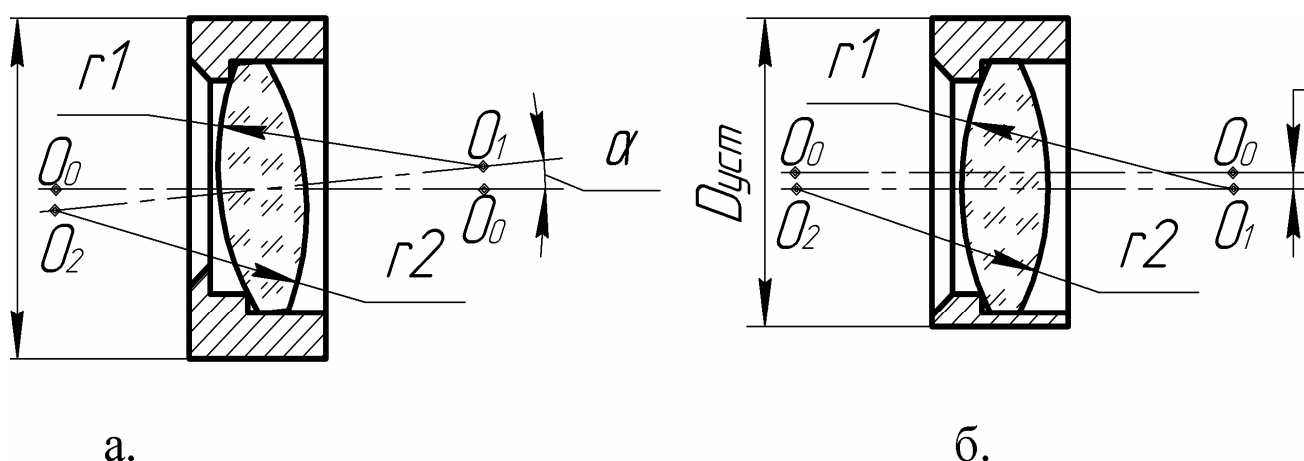


Рис. 8. 15. Види децентрування лінз в оправі:
а – кутова аберация на кут α ; б – лінійна аберация на розмір h мм.

Для компенсації таких похибок розміри базових установочних і опорних поверхонь $D_{уст}$ на оправках роблять у механічному цеху завищеними, з певними припусками, а під час складання вводять додаткову операцію центрування лінзи за рахунок доробки в процесі складання цих розмірів оправ за встановлених і зцентрованих у них лінзах.

8.3.2. Методика центрування лінзи

Центрування лінзи в оправі з метою усунення можливих зміщень центрів сферичних поверхонь із геометричної осі вузла виконується під час складання безпосередньо на спеціальних токарних верстатах. При цьому застосовують спеціальні пристрої та налагоджувальні прилади, що дозволяють установити лінзу в

необхідне положення відносно осі обертання шпинделя верстата, а потім виконати доробку базових поверхонь оправи відповідними проточуванням.

Зміщення центрів кривини поверхонь лінзи з осі визначається та вимірюється безпосередньо на токарному верстаті за допомогою автоколімаційної трубки ЮС-13, розробленої О.А. Забеліним. Схему такої трубки показано на рис. 8.16.

Прилад встановлюється центром 12 у піноль 10 задньої бабки верстата й спрямовується трубкою за віссю на шпиндель верстата. За допомогою гвинта 11 центруються осі автоколіматора та шпинделя верстата за рахунок необхідного вигину дугоподібної ресори 9, на якій тримається трубка. Основним елементом трубки є напівпрозоре дзеркало 3 із нанесеними на ньому штрихами у вигляді просвітленого перехрестя на темному фоні. Підсвічене освітлювальним пристроєм 8 світне перехрестя спрямовується на поверхню Б лінзи І, яку центрують. За допомогою об'єктива 2 його відбите зображення проектується в площині П, де розміщений центр O_B кривини Б лінзи.

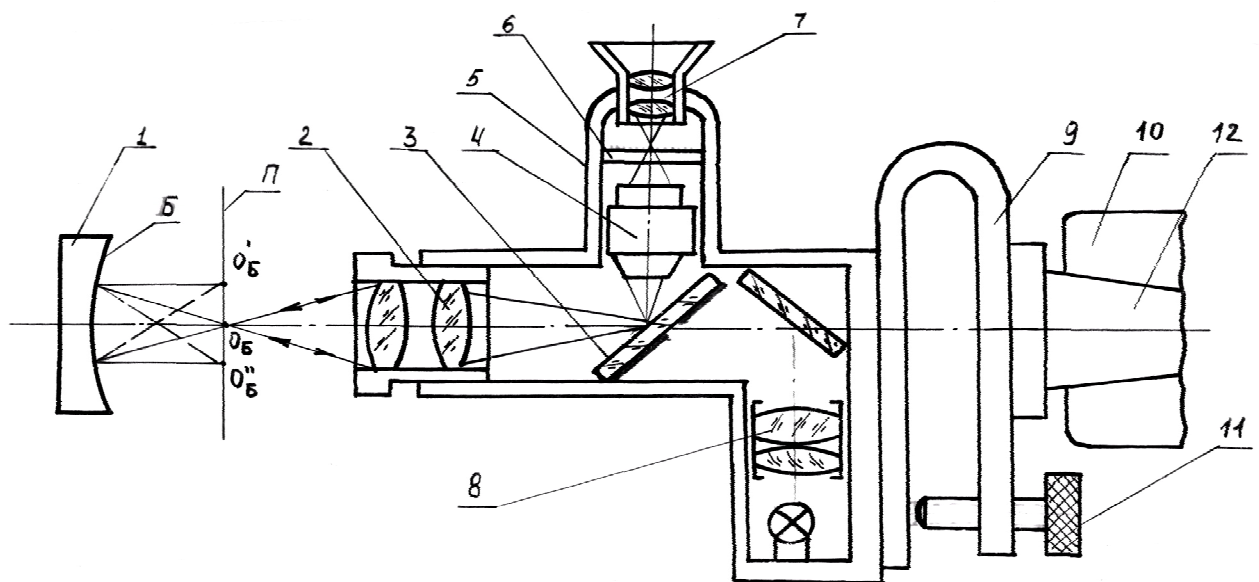


Рис. 8. 16. Схема трубки О.А.Забеліна

Якщо в контрольованому блоці центр сфери лінзи зміщено, то зображення перехрестя спроектується при відображенні від поверхні Б у точку O'_B . За повільного обертання шпинделя верстата оправа з лінзою повернеться і відбите перехрестя зміститься в точку O''_B . За зміщенням зображення перехрестя спостерігають за допомогою вмонтованого в трубку мікроскопа 5 і дзеркала 3, на

яке відображення потрапляє, коли світло проходить назад крізь об'єктив 2. У мікроскопі 5 є окуляр 4 збільшення відображення і настроювальний діоптричний окуляр 7. Величина зміщення відбитого перехрестя визначається за прозорою, концентричною вимірювальною шкалою 6 з ціною поділки в мікрометрах.

Схему проходження спрямованого та відбитого променів світла під час вимірювання децентрування лінзи показано на рис. 8.17. Промінь світла з трубки ЮС-ІЗ потрапляє через точку O на поверхню лінзи в точку A під кутом α до перпендикуляра на цій точці AO_1 до поверхні, оскільки точка O_1 центр сфери в даному положенні лінзи 1. Промінь відіб'ється, від поверхні з точки A також під кутом α і відображення перехрестя спостерігатиметься в площині Π вже в точці O'_1 .

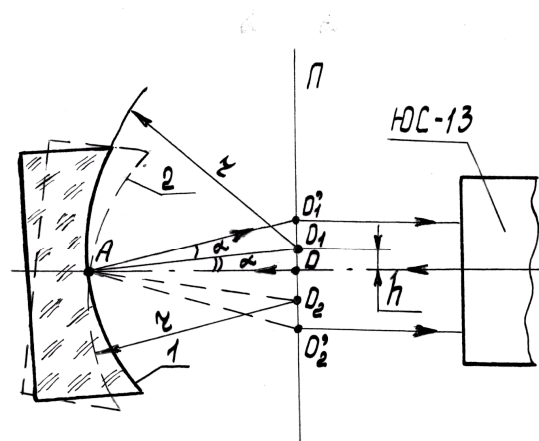


Рис. 8.17. Схема центрування лінзи

Відстань від точки O'_1 до точки входу променя O

$$2\alpha = 2h/r, \quad (8.2)$$

де h - величина зміщення центра кривини поверхні лінзи радіуса r .

Після повертання лінзи в позицію 2 центр її сфери переміститься в точку O_2 вниз від осі входу променя світла OA , а зображення перехрестя опиниться в точці O'_2 . Діаметр обертання зображення D на шкалі 6 відповідає відстані між точками O'_1 та O'_2

$$D = 4h \beta_{об} \beta_{ок}, \quad (8.3)$$

де $\beta_{об}$, $\beta_{ок}$ - величини масштабу лінійного збільшення відповідно об'єктива 2 трубки та окуляра 4 мікроскопа.

Значення D вимірюється за шкалою-сіткою 6 як N поділок шкали з ціною поділки m . Згідно із вимірюваннями діаметр обертання центра перехрестя за шкалою

$$D = mN \quad (8.4)$$

Зрівнюючи вирази (8.3) та (8.4), можна визначити справжню величину децентрування контрольованої лінзи за формулою в мкм:

$$h = \frac{mN}{4\beta_{об}\beta_{ок}} \quad (8.5)$$

Для практичного застосування є спеціальна таблиця перерахунку величини h в мікрометри.

8.3.3. Технологія центрування лінзи

Технологічний процес центрування лінз в оправках виконується в такій послідовності. Оправа 9 з лінзою (рис. 8.18) встановлюється на спеціальний центрувальний пристрій, який є плаваючим складним патроном, що кріпиться патроном у шпинделі токарного верстата I. Пристрій має нерухому опорну основу 2 з чотирма установочними гвинтами 3, які утримують за конусні зрізи рухомий патрон 4. У разі перегвинчування гвинтів 3 можна зміщувати цей патрон у певному інтервалі у вертикальній площині по опорній поверхні Н.

Права частина цього рухомого патрону має сферичну опору 5, в якій може переміщуватися друга рухома частина патрону 6, яка має аналогічну сферу-опору радіуса R_n . Поворот усієї правої частини оправки на будь-який кут через ковзання сферичних опор виконується чотирма установочними гвинтами 10, які повертають обойму 7, закріплену на опорі 6. Поворотний елемент патрону несе проміжну перехідну оправку 8, на кінці якої закріплюється оправа 9, яку центрують із лінзою. Довжина L цієї оправки вибирається за умовою, щоб центр сфери O_1 найближчої до труби поверхні лінзи потрапив у площину Π розміщення центра O радіуса сферичної опори R_n поворотного елемента.

Через наявність виробничих похибок центри O_1 та O_2 сферичних поверхонь лінзи не збігатимуться з осями оправки та верстата, що зображено на верхній позиції рис. 8.18. Спочатку центрується найближча до трубки ЮС-13 поверхня лінзи суміщенням центра O_1 з віссю верстата за рахунок переміщення гвинтами 3 рухомого елемента патрону 4 на величину децентрування h вгору. Це переміщення контролюють автоколіматором, поєднуючи центр відображеного перехрестя з центром шкали, якщо діаметр D дорівнюватиме нулю. Під час цього процесу пристосування повільно обертається із шпинделем верстата (середня позиція схеми).

Потім переходять до центрування другої поверхні лінзи радіуса r_2 з центром O_2 .

Обертанням гвинтів 10 повертають обойму 7 по сфері на певний кут до суміщення центра сфери O_2 з віссю обертання шпинделя.

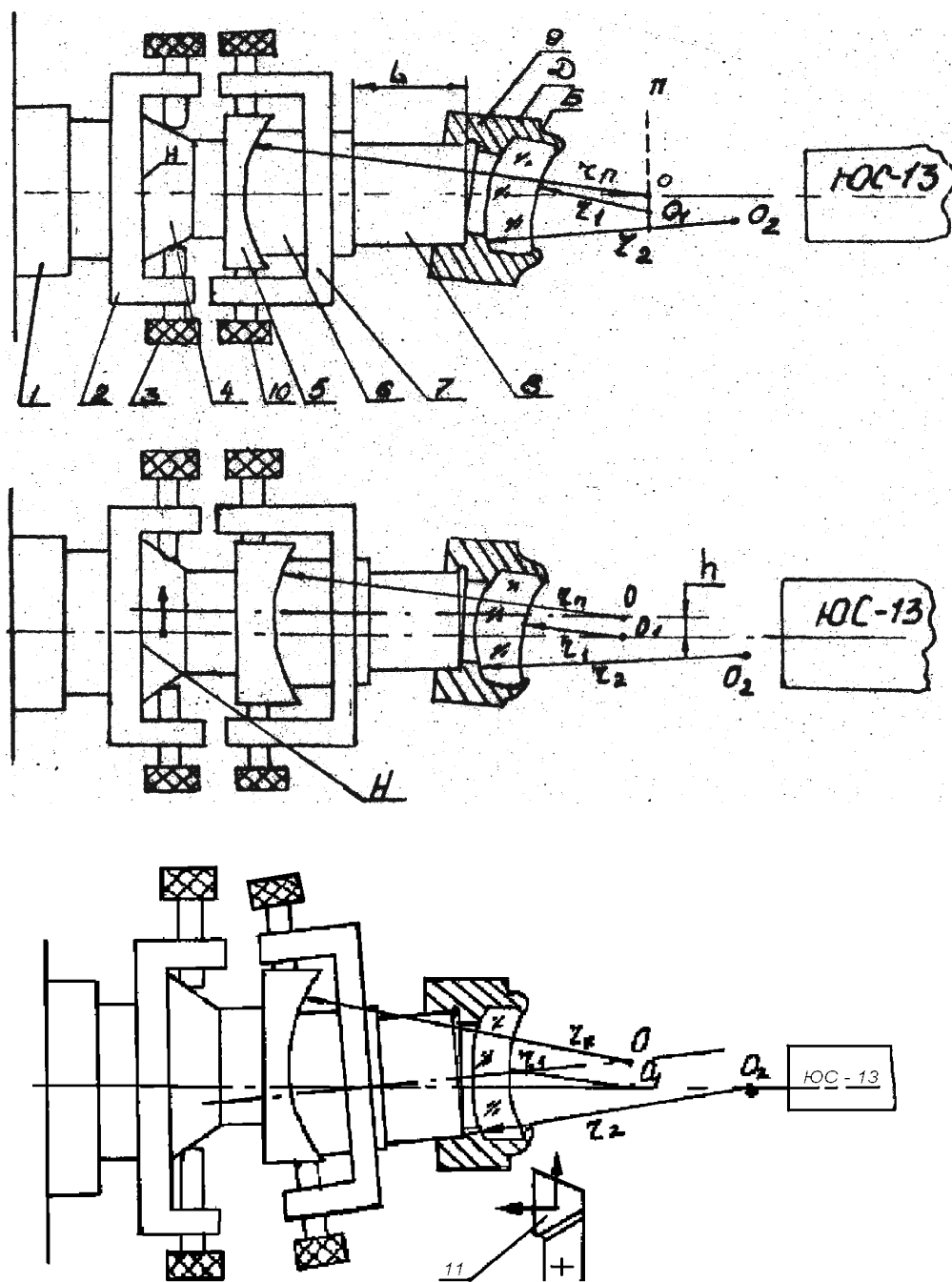


Рис. 8.18. Послідовність процесу центрування лінзи.

Поворот виконується навколо центра сфери O радіуса r_n . Після суміщення центрів сфер лінзи руху відображених відблисків шкалою мікроскопа трубки (на рис. 8.18 нижня позиція) не повинно бути. У такому положенні лінза зцентрована своєю оптичною віссю з віссю верстата.

Потім шпиндель верстата вмикається на великі оберти та спеціальним підрізним різцем 11 торець Б оправы підрізається на потрібний за кресленням розмір $l_2 \pm 0,01$. Одночасно проточується на точний остаточний розмір зовнішній посадочний діаметр оправы **D**. Таким чином, дані поверхні оправы точно узгоджуються з оптичною віссю лінзи методом їх доробки за місцем.

Під час підрізування торця оправы потрібний розмір l_2 перевіряють спеціальним контрольним пристроєм (рис. 8.19). Оправа 2, закріплена на оправі 1, після зупинки шпинделя протирається й до торця підрізки приставляється опорна втулка 3, в якій гвинтом 4 кріпиться індикатор годинникового типу 5 з ціною поділки 1 або 2 мкм. На вимірювальний шток індикатора кріпиться спеціальний шариковий наконечник із рубіну, ельбору чи твердого сплаву. Пристрій наперед налагоджують на розмір l_2 за еталонними плитками з точністю до 0,001 мм.

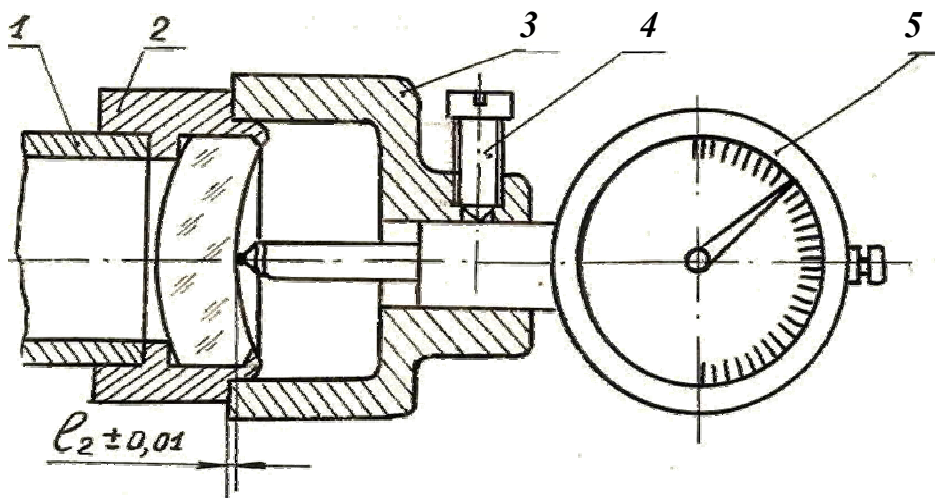


Рис. 8.19. До перевірки величини підрізування торця оправы

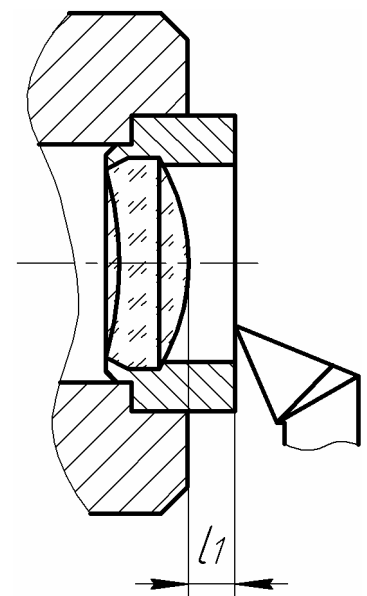


Рис. 8.20. Схема підрізування торця оправы

Після підрізування торця та проточування зовнішнього діаметра оправы з лінзою передається до іншого робочого місця, де на токарному верстаті підрізується другий опорний торець оправы. Оправа кріпиться в цанговий патрон (рис. 8.20) з упором у підрізаний раніше торець і підрізним різцем знімається припуск з оброблюваної поверхні до розміру l_1 . Контроль за точністю одержання даного розміру виконують аналогічним описаному раніше нутроміром. Після даної операції всі робочі базові поверхні оправы виявляються зведеними до єдиної оптичної осі цілого вузла, а лінза стає центрованою.

8.3.4. Визначення довжини перехідних оправок

Раніше зазначалося, що під час операції центрування лінзи в оправі для певного розміщення цієї лінзи на патроні потрібно застосовувати перехідні оправки строго визначеної довжини L (див. рис. 8.18). Цю довжину вибирають за умови, щоб центр кривини поверхні лінзи, найближчої до труби ЮС-13, перебував у площині, де розміщено центр кривини сферичної поверхні самого патрону, радіус сфери якого r_n . При цьому можуть виникнути різні варіанти розрахунку оправок залежно від конфігурації лінзи, встановленої в оправі.

На рис. 8.21,а показано схему для розрахунку довжини оправки у разі наявності вигнутої поверхні на лінзі, радіус сфери якої r_1 . Центр O_1 цієї сфери суміщено з центром сферичної поверхні радіуса r_n . Тоді можна скласти такий розмірний ланцюг:

$$r_n = l_n + L + l_l + L_l + r_l, \quad (8.6)$$

де l_n - товщина сферичної опори, L_l - товщина лінзи, задана кресленням; l_l - відстань між базовим упорним торцем оправки та центром сферичної поверхні лінзи на оптичній осі (див. рис. 8.20).

З виразу (8.6) знаходимо потрібну довжину перехідної оправки:

$$L = r_n - (l_n + l_l + L_l + r_l). \quad (8.7)$$

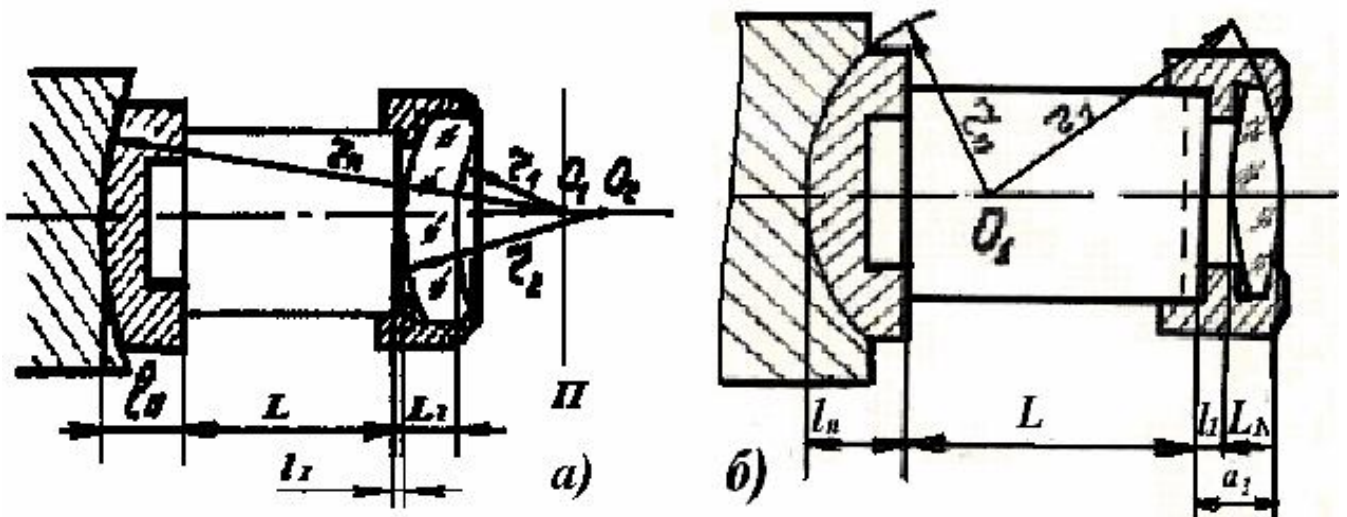


Рис. 8.21. Схема встановлення лінз на перехідних оправках: а – за наявності вигнутої лінзи; б – за наявності лінзи з опуклими сферами

Приклад. Визначити довжину оправки, якщо $r_n=100\text{мм}$; $L_l=7,2\text{мм}$; $l_n=24\text{мм}$;

$l_l=2,6\text{мм}$; $r_l=26,2\text{мм}$.

Шукана довжина оправки за (8.7) $L=100-(24+2,6+7,2+26,2)=40\text{мм}$.

У розрахунках точність виконання вихідних розмірів можна не враховувати, оскільки точка O_1 знаходиться об'єктивом автоколіматора ЮС-13 навіть якщо вона зміщена на $\pm 1\text{ мм}$.

Центруючи лінзи з опуклими сферами, застосовують регулювальні патрони з малим радіусом сфери підп'ятника r_n , щоб суміщення центрів сфер підп'ятника і лінзи було всередині оправки так, як показано на рис. 8.21,б. Згідно з даною схемою можна скласти такий розмірний ланцюг:

$$r_n + r_l = l_n + L + l_l + L_d \quad (8.8)$$

Тоді шукана довжина перехідної оправки

$$L = (r_n + r_l) - (l_n + l_l + L_d) \quad (8.9)$$

Приклад. Визначити довжину оправки, якщо $r_n=40\text{мм}$; $l_n=18\text{мм}$; $L_d=12,6\text{мм}$;

$r_l=48\text{мм}$; $l_l=1,6\text{мм}$.

За (8.9) довжина оправки $L = (40+48) - (18+12,6+1,6) = 55,8\text{мм}$.

Відповідь $L = 55,8\text{мм}$ показує, що навіть за малого радіуса сфери опорної п'яти r_n довжина консолі збірної оправки дорівнює 88мм, що робить її маложорсткою.

На виробництві звичайно мають набір центрувальних патронів для центрування лінз із різними значеннями кривини сфери. Значення r_n та l_n маркуються на патроні під час його виготовлення.

Особливої уваги при застосуванні такого методу центрування за рахунок підрізування оправ під час складання має бути приділено жорсткості патрона-оправки, оскільки пружні деформації

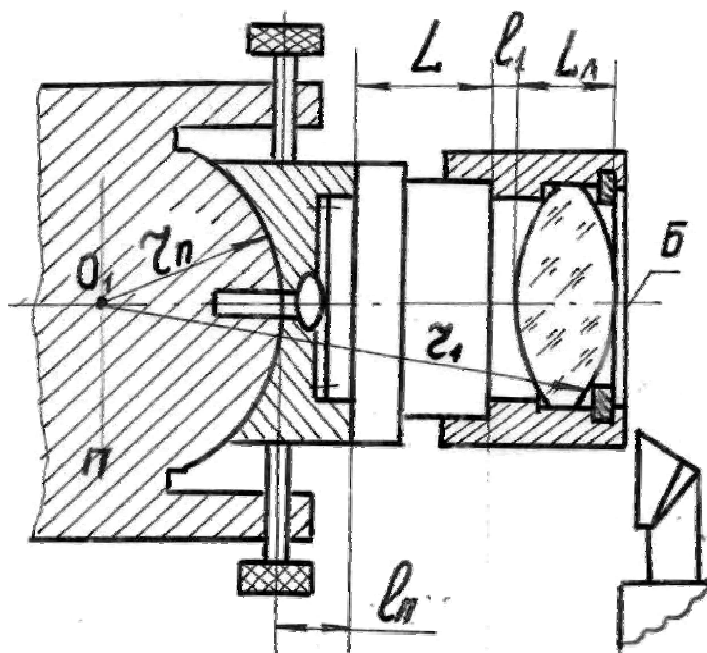


Рис. 8.22. Схема застосування патрона з опуклою сферою за центрування опуклих лінз

пристосування силами різання за великої довжини патрона можуть перевищити потрібну точність центрування. Тому в ході центрування опуклих лінз із малою кривиною (тобто коли r_1 має великі розміри) застосування описаних раніше схем неприйнятне.

У таких випадках слід застосовувати патрони з опуклою сферою опори поворотного шарніра (рис. 8.22). Із рис. 8.22 випливає, що точка центрів сфер шарніра та поверхні лінзи O_I як перетин площини проектування центра сфери Π з віссю обертання верстата перебуває значно лівіше сфери шарніра. Такі патрони називаються патронами з „від’ємним” радіусом. У разі такої схеми довжину перехідної оправки L знаходять із розмірного ланцюга. $r_I = r_n + l_n + L + l_I + L_{\Pi}$. Звідки

$$L = r_I - (r_n + l_n + l_I + L_{\Pi}). \quad (8.10)$$

Приклад. Визначити довжину оправки, якщо $r_{\Pi}=36\text{мм}$; $l_{\Pi}=8,6\text{мм}$; $L_{\Pi}=14,5\text{мм}$; $r_I=86\text{мм}$; $l_I=2,4\text{мм}$.

Підставляючи дані в (8.10), знаходимо $L = 86 - (36 + 8,6 + 2,4 + 14,5) = 26,5 \text{ мм}$.

Відповідь 24,5 мм показує, що жорсткість оправки буде достатньою для підрізування торця оправки B .

8.4. Складання об’єктивів та окулярів

8.4.1. Загальні вимоги до складання таких пристроїв

Однією з поширених і відповідальних операцій складання оптичних пристроїв, яка істотно визначає якість виробу, є встановлення набору лінз в один спільний корпус – оправу або тубус. Такими операціями завершуються технологічні процеси складання окулярів, конденсорів, об’єктивів, мікроскопів тощо. Усі ці пристрої характеризуються наявністю кількох лінз різних розмірів і профілю для певного перетворення світлового променя та одержання потрібного зображення.

Лінзи розміщують в оправках і об’єктивах уздовж оптичної осі в строгій послідовності на певній відстані одна від одної. Основні технічні умови та вимоги до складання цих пристроїв такі:

1. Висока точність взаємного розташування оптичних елементів за віссю як відстань між їх певними поверхнями. Допуск на їх можливе зміщення вздовж осі задають залежно від класу точності приладу в межах $\pm(0,005...0,05)$ мм.

2. Висока жорсткість установлення лінзи в оправі за віссю вузла та незмінність розмірів між ними в процесі експлуатації.

Остання вимога зобов'язує застосовувати для точної фіксації лінз уздовж осі жорсткі упори у вигляді установочних міжлінзових кілець із металу, проміжних упорних кілець між частинами збірної об'єктива або жорсткі упори самими торцями з'єднаних оправ як основні складальні орієнтуючі бази.

Щоб виконати першу вимогу щодо одержання високої точності взаємного розташування лінз, ураховуючи багатоланковість розмірного ланцюга, який складають з неточними елементами, застосовують метод забезпечення точності складання шляхом припасовування або виготовлення за місцем упорних елементів вузла. Така доробка компенсуючих розмірів виконується безпосередньо під час складання пристрою.

Застосування механічної обробки на верстатах елементів оптичних систем під час складання їх, природно, значно погіршує екологічну обстановку, порушує стерильність складальних ділянок, значно збільшує трудомісткість технологічного процесу, потребує застосування висококваліфікованої праці. Усе це ускладнює та здорожує процес виробництва оптичних пристроїв. Але застосування такого методу складання в багатьох випадках є єдиним варіантом забезпечення заданої вихідної точності роботи приладів.

8.4.2. Технологія складання окулярів

За конструкцією окуляри є звичайними пристроями, що мають в одному корпусі кілька лінз, встановлених послідовно. Чіткість зображення, яке передається пристроєм, багато в чому визначається точністю взаємного розташування цих лінз за оптичною віссю. На рис. 8.23 схематично показано просту конструкцію окуляра, де перетворюючі лінзи 1, 2 та 3 встановлено в одному корпусі-оправі 4. Точність виконання товщини лінз l_L (на схемі показано лише товщину l_{L2}) звичайно задають

допуском, який дорівнює $\pm 0,05$ мм (проте іноді таким, що досягає $\pm 0,1$ мм). Водночас точність виконання повітряних зазорів між лінзами за оптичною віссю має бути витриманою під час складання з допуском у межах $\pm(0,01 \dots 0,03)$ мм.

Розміри l_{B1} та l_{B2} таких зазорів і потрібна їх точність забезпечуються за рахунок припасовування розмірів міжлінзових установочних кілець 5 (на схемі розміри l_{k1} та l_{k2}), оскільки справжні розміри l_{B1} та l_{B2} під час складання будуть величинами випадковими. Припасовування ширини кілець можна виконувати у процесі складання двома методами.

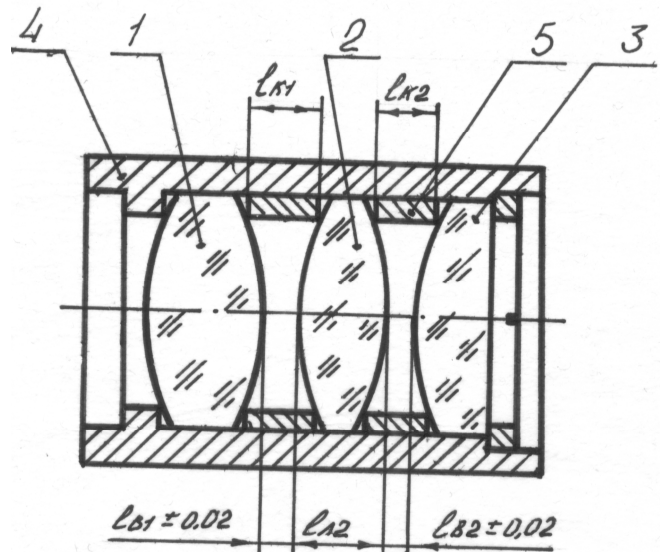


Рис. 8.23. Схема складання окуляра

Метод 1. Послідовне припасовування розмірів l_k встановлюванням кілець, попередньо нарізаних із значним припуском за шириною для можливості доробки за місцем.

Метод 2. Попередній розрахунок необхідної ширини кілець l_k вимірюванням справжніх розмірів товщини лінз зі подальшим нарізуванням кілець за необхідними для складання кожного блока лінз величиною проміжних кілець.

За першим методом технологічний процес встановлення лінз в окулярі та підрізування ширини кілець відбувається в такій послідовності (рис. 8.24). В оправу вставляють першу лінзу 1 і вимірюють за допомогою мікрометричного нутроміра з точністю 0,02 або 0,01 мм відстань від торця оправы до центра лінзи (рис. 8.24, а) як довжину L_1 . На лінзу 1 накладають проміжне установочне міжлінзове кільце K із завищеною попередньою шириною l_{k1}' (рис. 8.24,б). На кільце встановлюють другу лінзу 2, товщина якої l_{L2} вимірюється попередньо. Вимірюють L_2 тим самим нутроміром, що й відстань від торця оправы до центра кривини лінзи 2. У результаті вимірювань визначають одержану під час попереднього складання відстань між лінзами за оптичною віссю як повітряний зазор l'_{B1} за виразом

$$l'_{B1} = L_1 - (L_2 + l_{L2}). \quad (8.11)$$

Величина перевищена повітряної справжньої відстані між лінзами порівняно з

креслярським l_{B1} :

$$\Delta_1 = l'_{B1} - l_{B1}, \quad (8.12)$$

де Δ_1 зайвий припуск на першому кільці, на основі якого визначається необхідний розмір ширини першого установочного кільця:

$$l_{K1} = l'_{K1} - \Delta_1. \quad (8.13)$$

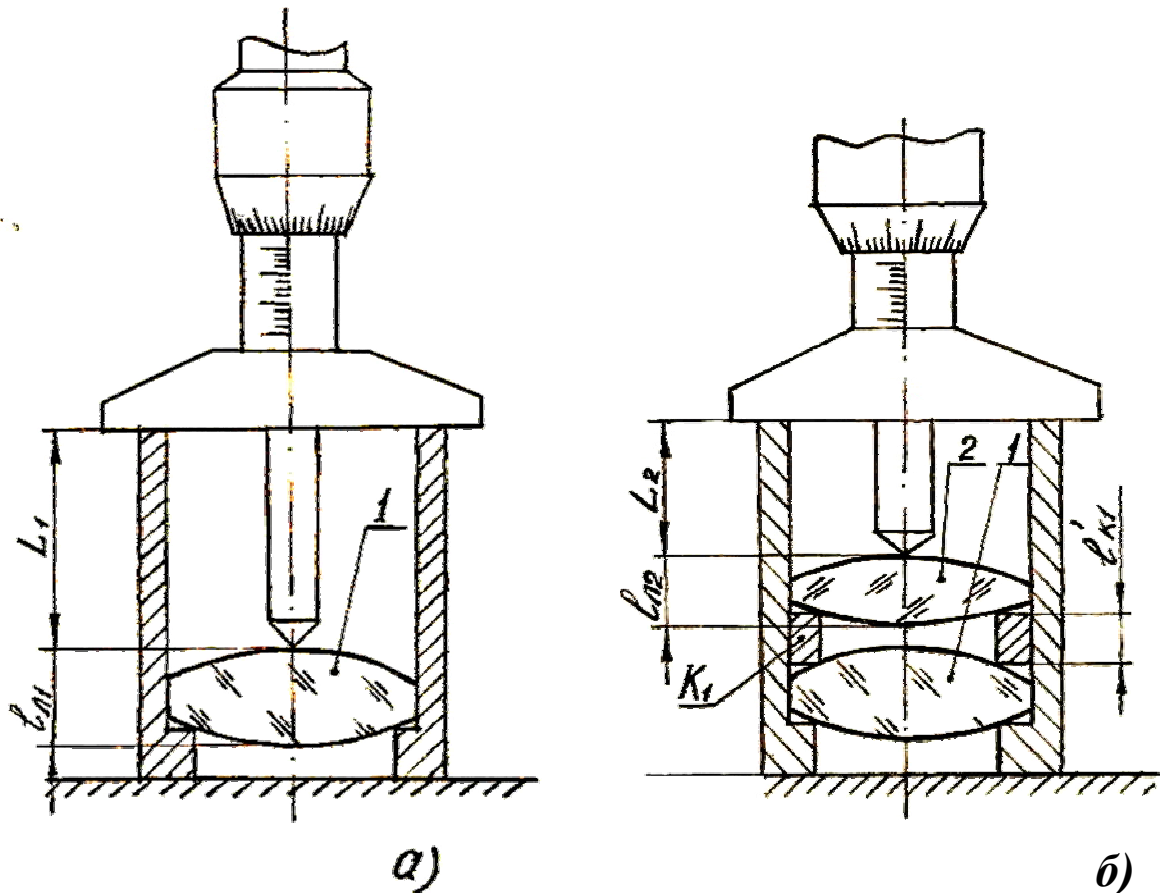


Рис. 8.24. Схема припасовування розмірів кілець за допомогою першого методу:
а – вимірювання першої лінзи; б – вимірювання другої

Оправа розбирається, а кільце K_1 підрізується до l_{K1} на токарному верстаті. При цьому особлива увага приділяється точності встановлення кільця в цанговому патроні для забезпечення строгої паралельності його торців, щоб запобігти перекосу лінз. Під час такої доробки кільця заборонено знімати фаски за його отвором, оскільки вони порушують положення точки контакту кільця та лінзи. Дозволяється лише притупити гостру кромку, щоб видалити можливу задирку.

Після цієї процедури оправу знову збирають, вкладаючи в неї лінзу 1, кільце K_1 лінзу 2, а зверху встановлюють нове проміжне кільце K_2 із завищеною шириною l'_{K2} і третя лінза 3, і процес вимірювань і розрахунків повторюють. Визначається

величина необхідного підрізування другого кільця та його потрібна ширина:

$$l_{k2} = l'_{k2} - d_2. \quad (8.13a)$$

Так послідовно визначаються розміри всіх проміжних кілець і виконується їх потрібна доробка за шириною.

Другий метод встановлення лінз і проміжних кілець в одну оправу ґрунтується на попередньому розрахунку потрібної ширини цих кілець після вимірювання лінз і не потребує попереднього нарізування таких установочних кілець.

Застосовуючи цей метод, використовують аналогічний вимірювальний інструмент - мікрометричний глибиномір. Доповненням є використання технологічної втулки 2 (рис.8.25) як опорного базового елемента під час вимірювання. Втулка має відому стандартну висоту L_0 (30, 50 або 60 мм), виконану з високою точністю, а товщина її стінки S виконується такою, що дорівнює товщині міжлінзового установочного кільця. Така товщини нормалізована та вибирається залежно від розмірів лінзи.

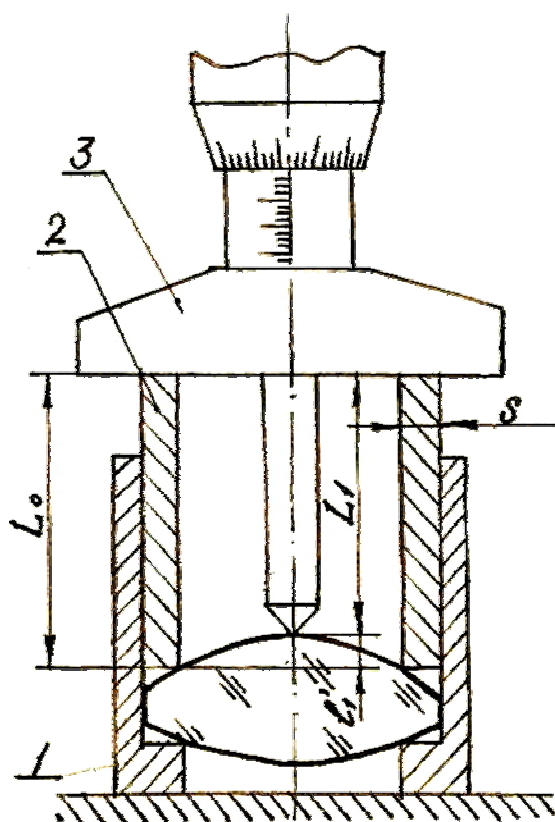


Рис. 8.25. Схема припасовування розмірів кілець за другим методом

Технологічний процес складання лінз у спільну оправу відбувається в такій послідовності. В оправу 1 встановлюється перша лінза в строго потрібне положення.

Зверху вставляється проміжна опорна втулка 2, довжина якої L_0 повинна бути такою, щоб вона виступала з оправы. Упираючись у лінзу та маючи товщину стінки S , ця втулка імітує контакт лінзи з міжлінзовим кільцем. Глибиноміром 3 вимірюють розмір L_1 від торця втулки до центра лінзи. Знаючи довжину втулки, можна визначити перевищення центра поверхні сфери лінзи відносно площини дотику її до втулки (а отже, і до кільця):

$$l'_1 = L_0 - L_1. \quad (8.14)$$

З оправы виймається перша лінза, а замість неї вставляється друга, але тільки

догори тією поверхнею (у разі асиметричних сфер), яка буде повернута до першої лінзи. Знову вставляється еталонна втулка та вимірюється відстань від її торця до центра другої лінзи L_2 . Це дає змогу визначити перевищення центра сфери поверхні другої лінзи відносно площини дотику з кільцем:

$$l'_2 = L_0 - L_2 \quad (8.15)$$

Із креслення відомо розмір між лінзами за оптичною віссю l_{B1} . На основі результатів із (8. 14) та (8. 15) можна визначити потрібну ширину міжлінзового кільця:

$$l_{k1} = l'_1 + l'_2 + l_{B1} \quad (8.16)$$

Повторюються процедури вимірювання перевищення центрів сферичних поверхонь наступної пари лінз (другої та третьої) за допомогою тієї самої еталонної втулки та розраховується потрібна ширина другого проміжного кільця l_{k2} з урахуванням заданого за кресленням повітряного зазору l_{B2} між лінзами:

$$l_{k2} = l''_2 + l'_3 + l_{B2} \quad (8.17)$$

де l''_2, l'_3 - результати вимірювань перевищень центрів поверхонь відповідно другої та третьої лінзи над площиною контакту з кільцем.

Аналогічно визначають необхідну ширину інших кілець окуляра. За одержаними розмірами $l_{k1}, l_{k2}, \dots, l_{kn}$ на окремій ділянці складання нарізаються проміжні кільця з труби-заготовки з товщиною стінки S . Нарізані кільця нумеруються у потрібній послідовності та надходять на складання, де в стерильних умовах лінзи складається в оправках без жодних додаткових регулювань.

Приклад. Визначити ширину міжлінзових кілець для окуляра, що містить три опуклі лінзи товщиною відповідно $l_{Л1} = 10,2\text{мм}$; $l_{Л2} = 8,6\text{мм}$; $l_{Л3} = 12,45\text{мм}$ з допуском $\pm 0,06\text{мм}$. Можлива сумарна похибка зміщення третьої лінзи вздовж осі $0,12 + 0,12 = 0,24\text{ мм}$. Відстань між лінзами: $l_{B1} = 3,6 \pm 0,02\text{ мм}$; $l_{B2} = 12,4 \pm 0,02\text{ мм}$, загальна похибка зміщення третьої лінзи не перевищує $0,08\text{мм}$.

Довжина еталонної опорної втулки $L_0 = 50\text{ мм}$.

Результати вимірювань нутроміром:

- першої пари поверхонь $L_1 = 48,38\text{ мм}$; $L_2 = 48,56\text{ мм}$,

- другої пари поверхонь $L'_2 = 48,52\text{ мм}$; $L_3 = 47,87\text{ мм}$.

За (8.14) та (8.15) визначаємо перевищення сферичних поверхонь лінз над

площиною контакту з кільцями:

для першої пари кілець:

$$l'_1 = 50 - 48,38 = 1,62; l'_2 = 50 - 48,56 = 1,44 \text{ мм};$$

для другої пари кілець:

$$l''_2 = 50 - 48,52 = 1,48; l'_3 = 50 - 47,87 = 2,13 \text{ мм}.$$

За (8.16) та (8.17) знаходимо ширину кілець:

першого

$$l_{k1} = 1,62 + 1,44 + 3,6 = 6,66 \text{ мм};$$

другого

$$l_{k2} = 1,48 + 2,13 + 12,4 = 16,01 \text{ мм}.$$

Відповідь: розміри на нарізування кілець з урахуванням допуску

$$l_{k1} = 6,66 \pm 0,01 \text{ мм}; l_{k2} = 16,01 \pm 0,01 \text{ мм}.$$

Порівняння цих двох методів показує, що перший метод універсальний і простіший, не потребує точних вимірювальних втулок. Проте він має такі недоліки:

- не такий точний, оскільки не враховує похибок виготовлення сферичного профілю лінз у вигляді відхилень кривини або хвилястості;
- нестерильний, оскільки виконується паралельно з токарним процесом обробки з підрізування кілець;
- потрібно нарізати попередньо установочні кільця з припуском за шириною, а потім ще їх додатково підрізати, що спричинює додаткові матеріальні та часові витрати;
- тривалість циклу через повторюваність послідовно виконуваних робіт.

Через це перший метод застосовується в основному в індивідуальному та дрібносерійному виробництві.

Другий метод складання окулярів без попереднього нарізування заготовок кілець потребує попередньої підготовки упорних вимірювальних втулок і складніший ніж перший. Його переваги:

- розділяє точне складання оптичних елементів із механічною обробкою з нарізування кілець на рівні ланки та робить складання стерильним;
- скорочує цикл складання за рахунок паралельності робіт, робить процес складання продуктивнішим;

- підвищує точність і якість складання.

Другий метод складання окулярів застосовують у серійному та великосерійному виробництві.

8.4.3. Технологія складання об'єтивів

Більшість оптичних приладів містить в оптичній системі різні об'єктиви, призначені для певного формування світлового потоку чи зображення. Як і окуляри, вони мають кілька різних лінз, розміщених у строгій послідовності вздовж оптичної осі. Часто об'єктиви є збірними пристроями, складеними з двох або більше окремих оправ, які згвинчуються в процесі загального складання. Такі збірні пристрої технологічніші та точніші, за рахунок автономного складання та центрування лінз у кожній оправі, ще значно ускладнено в цілісній багатолінзовій конструкції.

Як і під час складання окулярів, основними визначальними операціями технології складання об'єтивів є процеси, пов'язані з точним розставленням лінз уздовж оптичної осі складної системи. Для такого точного розміщення лінз за віссю конструктивно передбачено в місцях з'єднань об'єтивів компенсуючі елементи, які доопрацьовують за місцем, у вигляді проміжних опорних кілець або опорних торців оправ.

На рис. 8.26. показано схему об'єктива де точність взаємного розташування блока лінз 1 та 2 (тобто точність l_B) забезпечується за рахунок припасовування ширини K проміжного компенсаційного кільця 5, встановлюваного між загвинчуваними оправами 3 і 4.

Технологічні процеси одержання блока лінз і складання оправ із лінзами описано раніше і вони не викликають особливих ускладнень. Спочатку клеїться блок лінз 1, потім встановлюються та кріпляться лінзи в оправах і

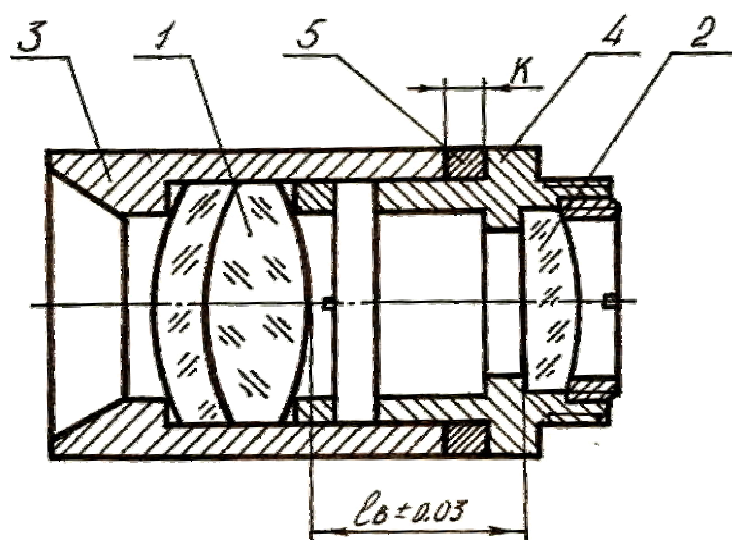


Рис. 8.26. Схема збірного об'єктива з компенсаційним кільцем

перевіряються зусилля кріплення у дефектоскопах. Процеси центрування лінз також описано раніше; вони є останніми перед остаточним складанням об'єктива.

Технологічний процес визначення потрібної ширини компенсаційного кільця виконується в такій послідовності. Точність виконання лінз і точність встановлення їх в оправі не забезпечує простим стикуванням оправ 3 і 4 потрібної точності міжлінзового розміру $l_B \pm 0,03\text{мм}$. Тому оправу 3 роблять на 3...4 мм коротшою за потрібну номінальну довжину, а частину, якої не вистачає, виконують компенсаційним кільцем 5. Щоб визначити його потрібну ширину K , вимірюють справжні розміри лінз з оправами 3 та 4.

Встановлюють оправу 3 із блоком лінз 1 на вимірювальний столик (рис.8.27,а) і мікрометричним нутроміром вимірюють L_1 як відстань до центра лінзи.

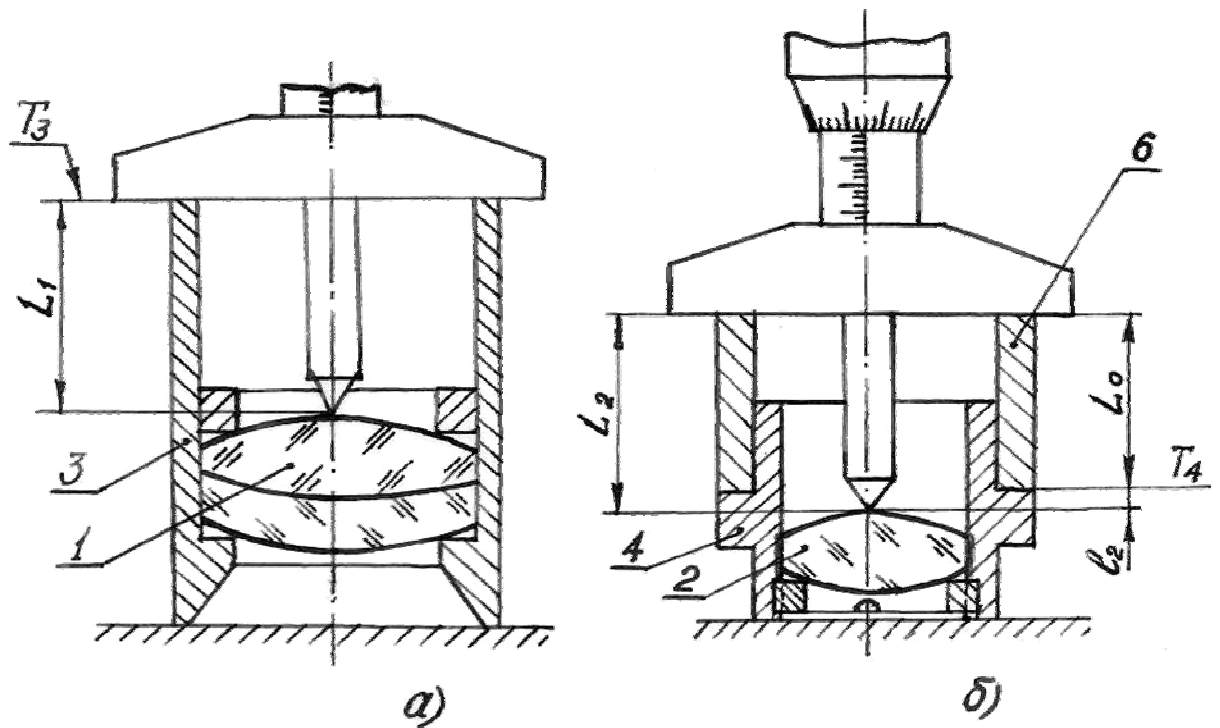


Рис. 8.27. До визначення ширини компенсаційного кільця:
а – перше вимірювання; б – друге вимірювання

Встановлюють другу оправу 4 на столик і за допомогою проміжної контрольної втулки 6 з відомою довжиною L_0 вимірюють відстань між центром лінзи 2 і торцем цієї втулки. Втулка при цьому встановлена на опорний торець T_4 оправы, який є складальною упорною базою під час складання об'єктива. На основі вимірювань визначають l_2 як різницю рівнів центра сфери лінзи 2 та опорного торця T_4 оправы 4:

$$l_2 = L_2 - L_0. \quad (8.18)$$

За відомим значенням l_B (відстань між центрами лінз 1 та 2 за віссю об'єктива) обчислюють потрібну ширину кільця 5:

$$K = l_B - (L_1 + l_2) \quad (8.19)$$

За одержаними результатами розрахунків на механічній ділянці вирізають компенсаційне кільце. Установлення такого кільця в процесі остаточного складання об'єктива в розмірний ланцюг пристрою дає змогу компенсувати всі похибки виготовлення інших елементів. Оскільки ці похибки під час складання виявляються випадковими величинами, то в кожному окремому випадку розмір K кільця буде особливим.

Приклад. Визначити потрібну ширину компенсаційного кільця для складного об'єктива, якщо $l_B = 23,45 \pm 0,03$ мм. Результати вимірювань нутроміром: $L_1 = 16,32$ мм; $L_2 = 23,74$ мм. Довжина вимірювальної втулки $L_0 = 20$ мм.

За (8.18) визначаємо відстань від лінзи до площини упорного складального торця:

$$l_2 = 23,74 - 20 = 3,74 \text{ мм.}$$

За (8.19) визначаємо ширину кільця:

$$K = 23,45 - (3,74 + 16,32) = 3,39 \text{ мм.}$$

Задаємо допуск на виготовлення кільця $0,02$ мм.

Відповідь. Ширина компенсаційного кільця дорівнює $3,4_{-0,02}$ мм.

В оптичному приладобудуванні існують конструкції об'єктивів, які мають єдиний зовнішній жорсткий корпус-оправу, в який додатково до перших лінз за спеціальними упорними базами вставляються внутрішні оправы з лінзами. Іноді такий довгий зовнішній корпус-оправу називають тубусом.

Наявність похибок виготовлення елементів такого об'єктива потребує введення до технологічного процесу складання, щоб забезпечити точність взаємного розташування лінз уздовж оптичної осі, компенсуючого елемента. Для цього часто застосовується підрізування базових опорних торців внутрішніх оправ за необхідним для даного вузла міжлінзовим розміром.

Конструктивну схему такого об'єктива показано на рис. 8.28. Перший блок

вхідних лінз 1 встановлено та закріплено в спеціальній оправі-тубусі 3. Усереднену цієї оправы вставляється оправа 4, яка містить закріплену на ній лінзу 2. Точний міжлінзовий розмір $l_B \pm 0,03$ мм утворюється двома оправами, які стикаються за базовою упорною площиною I, розміщеною глибоко в корпусі. Доробка опорного торця на оправі 3 технологічно ускладнена, а встановлення компенсуючого похибку неточного розмірного ланцюга проміжного кільця через прихованість його розміщення неточне. Тому задана точність l_B забезпечується за рахунок доробки на складанні розміру l_T на оправі 4, який спеціально технологічно завищують на величину, що перевищує сумарну похибку складання всього розмірного ланцюга лінз.

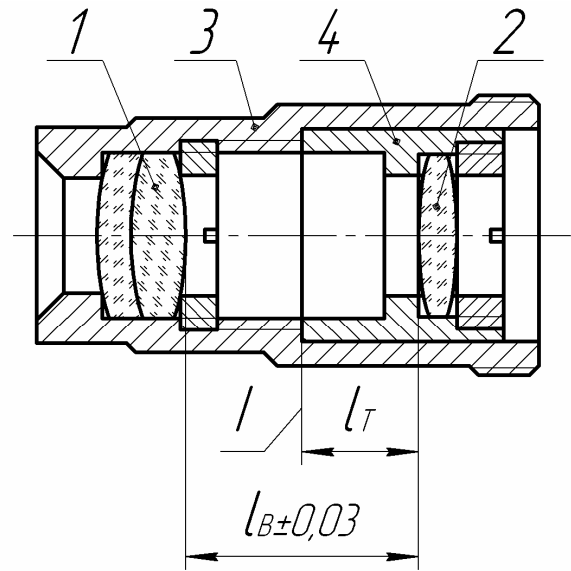


Рис. 8.28. Конструктивна схема об'єктива з підрізанням базового опорного кільця

Технологію складання оправ з лінзами детально описано рівніше. Специфічним складальним процесом у цьому разі буде процес забезпечення точності l_B за віссю лінз, до якого входять кілька вимірювань і розрахунків.

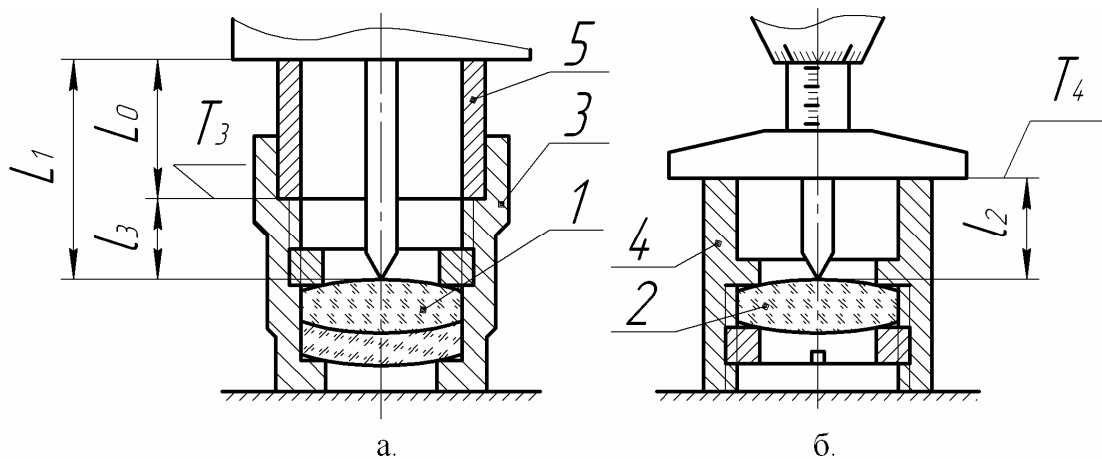


Рис. 8.29. До визначення величини підрізання торця:
а – перше вимірювання; б – друге вимірювання.

Оскільки опорний базовий торець T_3 в оправі 3 розміщено всередині деталі, то для вимірювання слід виготовити проміжну технологічну втулку 5 (рис. 8.29), довжина якої L_0 відома; ця втулка має виступати з оправы (рис. 8.29,а).

Вимірювану оправу 3 встановлюють на вимірювальний столик і вкладають у

неї до упора в базовий торець T_3 втулку 5. Мікрометричним нутроміром вимірюють відстань L_1 від торця втулки до центра сферичної поверхні лінзи 1. Визначають відстань від цього центра до упорного торця T_3 , коли відомо довжину L_0 втулки:

$$l_3 = L_1 - L_0 \quad (8.20)$$

Потім на вимірювальному столику нутроміром на оправі 4 (рис. 8.29,6) вимірюють L_2 - відстань від опорного торця оправы T_4 до центра сфери поверхні лінзи 2. Визначають одержану справжню відстань між лінзами 1 та 2 для даного об'єктива:

$$l'_b = l_3 + L_2 \quad (8.21)$$

Знаходять перевищення l'_b над необхідним за кресленням l_b :

$$\Delta_4 = l'_b - l_b \quad (8.22)$$

На токарному верстаті підрізають торець T_4 на оправі 4 на величину Δ_4 , забезпечуючи при цьому строгу перпендикулярність цього торця осі оправы. Гострі кромки слід притупити. Після ретельного промивання всі елементи спрямовують до остаточного складання загвинчуванням, контрування і контролю одержаних характеристик об'єктива.

Приклад. Визначити величину підрізування торця Δ_4 на оправі 4 для забезпечення міжлінзового розміру $l_b = 26,35 \pm 0,03$. Довжина втулки $L_0 = 30$ мм.

Результати вимірювань: $L_1 = 34,66$ мм; $L_2 = 22,53$ мм.

За (8.20) на оправі 3 визначаємо: $l_3 = 34,66 - 30 = 4,66$ мм.

За (8.21) знаходимо: $l'_b = 4,66 + 22,53 = 27,19$ мм.

За (8.22) величина підрізування оправы 4: $\Delta_4 = 27,19 - 26,35 = 0,84$ мм.

Відповідь. Величина підрізування торця: $T_4 = 0,84 \pm 0,01$ мм..

8.5. Технологія юстирувальних робіт

8.5.1. Поняття про юстирування приладів

Під процесом юстирування звичайно розуміють технологічні операції регулювання та настроювання основних якісних вихідних характеристик складних оптичних систем з метою усунення в них різних аберацій, тобто похибок роботи такої системи. Юстирування полягає у виконанні робіт щодо центрування оптичних елементів усієї системи за віссю; суміщення фокальних точок і площин з площинами проєкцій, з площиною візирних і шкалових сіток; виставляння та виконання певної взаємної кутової орієнтації окремих частин або деталей оптичної системи в потрібні для даного поєднання елементів положення, що усувають паралакс, кутові та лінійні спотворення, нерізкість проєктування зображення, неякісне формування світлових потоків, спектрально-частотних характеристик тощо.

Усі потрібні в процесі юстирування взаємні переміщення елементів оптичної системи приладу звичайно виконуються регулюванням за рахунок повороту регулювальних гвинтових пристроїв з кінцевою жорсткою фіксацією положення елемента, зміни кількості компенсаційних кілець або прокладок, або доробкою якоїсь компенсуючої деталі тощо. Тому після складання оптичних приладів майже завжди вводяться додаткові операції з юстирування їх оптичних систем. Слід також підкреслити, що в багатьох випадках саме ці операції дають змогу одержати високу якість приладу та точність його роботи.

Процес юстирування оптичних приладів частково вже висвітлювався в розділах центрування лінз в оправках і складання об'єктивів як початкових фаз цього процесу над окремими елементами системи. Розглянемо кілька найширше застосовуваних процесів юстирування деяких конкретних оптичних систем як загальні приклади таких технологічних робіт.

8.5.2. Юстирування паралаксу в оптичних системах

Під час складання будь-якого вимірювального оптичного приладу для усунення паралаксу потрібно виконати юстирування системи щодо суміщення площини зображення спостережуваного чи вимірюваного об'єкта з площиною вимірювальної шкали або візирної сітки. В якісно виконаному приладі площина різкого зображення об'єкта спостереження має обов'язково збігатись із площинами вимірювальної шкали або візирної сітки. За відсутності помітної нерізкості зображення являється недопустимий паралакс, який викликає в оптичних системах помилки першого порядку.

В оптиці паралаксом називаються: зсув зображення предмета відносно шкали або сітки, який спостерігають у разі поперечного зміщення зіниці ока в межах вихідної зіниці оптичної системи, якщо це зображення предмета (тобто площина проектування) не збігається з площиною візирної шкали або сітки. Якщо таке незбігання позначити Δx , то виникає похибка відліку від паралаксу

$$\Delta_{\text{вим}} = \Delta x h / \theta \quad (8.23)$$

де h - величина зміщення зіниці ока з осі системи; θ - відстань від ока до сітки шкали.

Зменшуючи Δx та h , можна зменшити похибку вимірювання, а якщо сумістити площини (при $\Delta x = 0$), можна повністю усунути її.

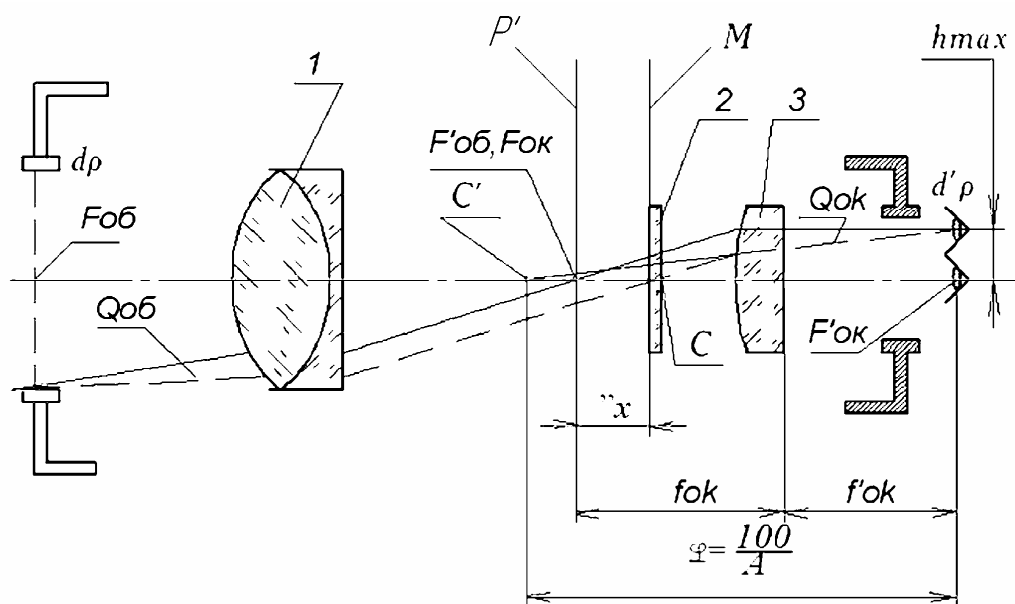


Рис. 8. 30. Оптична схема телескопічної системи.

Наявність паралаксу розглянемо на прикладі телескопічної системи, оптичну

схему якої зображено на рис. 8.30. Віддалений об'єкт проектується об'єктивом І зорової труби в площині P' суміщення заднього фокуса f'_{OK} окуляра 3. Поза окуляром зображення предмета будується в нескінченності. Площина M вимірювальної сітки 2 зміщена від площини проектування P на величину Δx у бік окуляра. Явище незбігу двох одночасно спостережуваних площин прийнято називати поздовжнім паралаксом.

$$\Delta'x$$

За поперечним зміщенням ока в межах вхідної зіниці окуляра діаметром d'_p спостерігатиметься поперечне зміщення центра C сітки 2 як найближчого предмета відносно зображення віддаленого об'єкта на величину ΔU . Позірне зміщення розглядуваного об'єкта, викликане зміною точки спостереження, прийнято називати поперечним паралаксом. Таке зміщення сітки 2 відносно зображення на величину ΔU спостерігатиметься під кутом θ_{OK} , який є мірою кутового паралаксу. В об'єктиві це спричинить кутовий паралакс:

$$\theta'_{OB} = \theta_{OK} \cdot M_{KUT}$$

де M_{KUT} - кутове збільшення відлікової труби.

Поздовжнє встановлення шкал і сіток у таких приладах має задовольняти такі вимоги:

- шкалу приладу та зображення об'єкта, яке на неї проектується, має бути видно однаково різко, що особливо стосується візуальних приладів;
- кутовий паралакс у приладах має забезпечуватись у допустимих межах.

Тому допуск на встановлення сітки A_D задається в діоптріях, а в другому випадку - допустимим паралаксом. Допуск на несуміщення сітки з площиною зображення виходячи з допустимого залишкового паралаксу (для візирної труби):

$$\Delta x_{ДОП} = f'^2_{OK} / a = f'^2_{OK} \theta_{ДОП} M_{KUT} / 3440 \cdot h_{\max} \quad (8.25)$$

для відлікового мікроскопа

$$\Delta x_{ДОП} = \frac{f'_{OK}}{h_{\max}} \cdot P_{ДОП} \cdot V_{OB} \quad (8.26)$$

де $\theta_{ДОП}$, $P_{ДОП}$ - залишкові допустимі кутовий і лінійний паралакси в оптичній системі; $h_{\max}$ - величина можливого зміщення ока з оптичної шкали; M_{KUT} , V_{OB} -

збільшення відповідно системи труби та мікроскопа.

На виробництві застосовуються кілька методів для точного встановлення сітки в площині проектування: за допомогою довгофокусного коліматора, автоколімаційних окулярів, зорової труби та пентапризми, зорової труби та плоскої пластини, паралаксу та ін.

Розглянемо деякі з цих методів, які найчастіше застосовуються на виробництві.

1. Встановлення сітки за допомогою зорової труби.

Це основний виробничий метод встановлення сітки в фокальну площину об'єктива. Прилад, який контролюється, встановлюють перед освітленим екраном і через зорову трубу розглядають зображення сітки поза об'єктивом відлікової труби. Якщо сітку встановлено, строго в фокальній площині, то її видно в зорову трубу в разі її встановлення на нескінченність.

Якщо для різкого зображення сітки тубус зорової труби потрібно пересунути до об'єктива труби, яку контролюють, то сітка оптичної системи, що контролюється, перебуває поза фокальною площиною об'єктива. Для суміщення сітки підрізають компенсаційну оправу або зменшують кількість компенсаційних кілець.

Якщо для різкого зображення сітки тубус зорової труби потрібно перемістити від об'єктива труби, що контролюється, то сітка перебуває перед фокальною площиною і слід додати компенсаційні кільця між об'єктивом і окуляром.

2. Встановлення сітки за допомогою довгофокусного коліматора.

Принципову схему такого встановлення показано на рис. 8.31. Перед системою ВТ - візирною відліковою трубою, яка складається з об'єктива 3, сітки 4 та окуляра 5, встановлюють довгофокусний коліматор К із сіткою 1 та об'єктивом 2. Сітка 4 в процесі юстирування переміщується вздовж осі X за допомогою зміни кількості компенсаційних кілець між торцями оправ. За сіткою спостерігають під час переміщень через окуляр системи 5. Такі ітерації сітки виконують доти, поки її зображення за поперечного переміщення ока не буде зміщуватись.

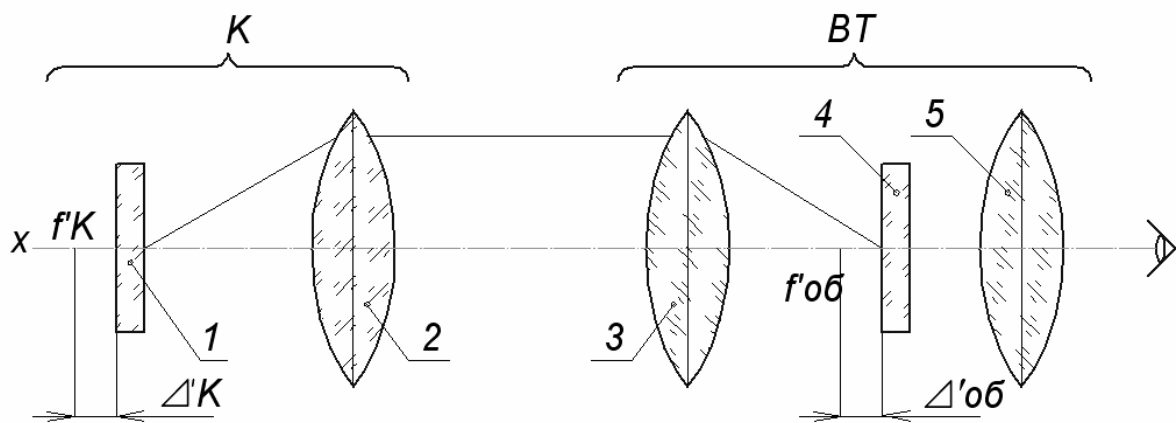


Рис. 8.31. Принципова схема юстування візирної труби

Оцінюючи похибку встановлення сітки за цим методом, треба враховувати, що сітка 1 коліматора може бути встановлена також з похибкою Δ'_K відносно фокуса об'єктива 2. Унаслідок цього зображення сітки 4 може зміститися на величину Δ'_{OB} . Щоб знайти цю похибку, скористаємося формулою Ньютона про фокусні відстані:

$$\begin{aligned} \Delta_K \Delta'_K &= -(f'_K)^2; \\ \Delta_{OB} \Delta'_{OB} &= -(f'_{OB})^2 \end{aligned} \quad (8.27)$$

Оскільки практично

$\Delta_K = -\Delta_{OB}$, то

$$(f'_K)^2 \Delta'_{OB} = -(f'_{OB}) \Delta_K \quad (8.28)$$

Звідси похибка

встановлення сітки

$$\Delta'_{OB} = \frac{-(f'_{OB})^2}{(f'_K)^2} \cdot \Delta'_K \quad (8.29)$$

Отже, похибка

встановлення сітки труби, що контролюється, за цим методом обернено пропорційна до квадрату фокусної відстані f'_K об'єктива коліматора 2. Тому

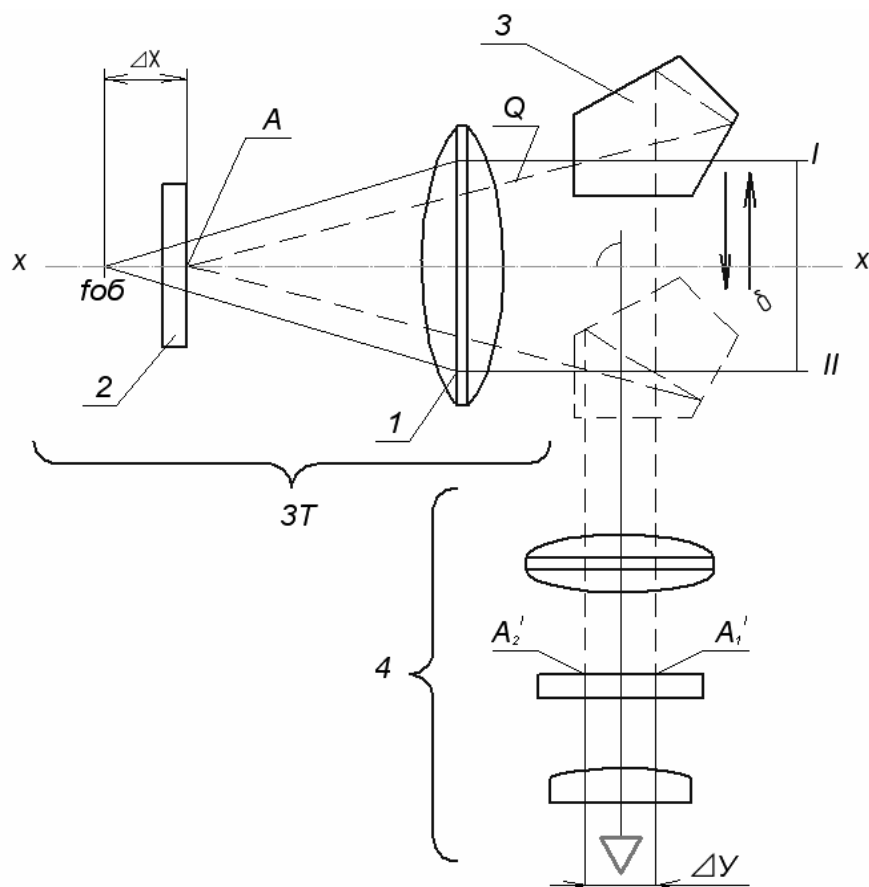


Рис. 8.32. Схема юстирування сітки за допомогою пентапризми

для контролю використовують коліматори з найбільшою можливою фокусною відстанню.

3. Встановлення сітки за допомогою пентапризми та зорової труби. Цей метод широко застосовується в процесі юстирування телескопічних систем, об'єктиви яких мають великі світлові діаметри. Схему такої оптичної системи контролю показано на рис. 8.32. Перед об'єктивом І приладу ЗТ - зорової труби - перпендикулярно до її оптичної осі $X - X$ переміщують пентапризму 3 (показано стрілками). Зображення сітки приладу 2 розглядають через пентапризму 3 за допомогою зорової труби 4, яка має сітку зі шкалою, за допомогою якої можна відлічити зміщення ΔU зображення сітки труби що контролюється. Якщо з цієї труби виходить паралельний пучок променів, коли сітка 2 встановлена точно в фокусну площину об'єктива, то в разі переміщень пентапризми 3 з позиції І в позицію 2 і назад зображення сітки труби залишається нерухомим відносно сітки зорової труби 4.

Якщо є зміщення сітки ΔX , що контролюється ЗТ, відносно фокальної площини об'єктива, то з нього вже виходитиме світловий потік з деяким кутом збіжності. За наявності ΔX , коли сітка зміщена до об'єктива І, з нього виходитиме розбіжний пучок променів. Зображення сітки за переміщення пентапризми зміститься з точки A_1' в точку A_2' . Тоді

$$\Delta X = \frac{2F_{OB}\theta}{\delta \cdot 206265}, \quad (8.30)$$

де F_{OB} - фокусна відстань об'єктива І; θ - кутовий паралакс, кутових секунд,

$$\theta = \Delta U \cdot (2F_{TP})^{-1}; \quad (8.31)$$

ΔU - виміряне зміщення зображення сітки на зоровій трубі 4; F_{TP} - фокусна відстань об'єктива цієї труби; δ - лінійне зміщення пентапризми.

8.5.3. Юстирування оптичного лазерного резонатора

Під юстируванням резонатора слід розуміти точне взаємне розміщення та орієнтування дзеркал, активного тіла та інших елементів усередині резонатора. Резонатор вважається юстированим, якщо виконуються такі умови: центри дзеркал

та їх кривини перебувають на оптичній осі системи; осі активного елемента та резонатора збігаються.

Від точності юстирування оптичних, елементів лазера значною мірою залежать вихідні параметри генерації. Аналіз такого впливу показує, що енергетичні, спектральні та інші характеристики лазерного випромінювання дуже чутливі до неточного розміщення дзеркал резонатора. Існує кілька методів такого юстирування резонаторів. Розглянемо основні з них.

1. Автоколімаційний метод на просвіт.

У разі використання автоколіматора суміщають зображення автоколімаційної позначки від заднього глибокого дзеркала під час послідовного встановлення активного тіла та інших елементів резонатора та вихідного дзеркала. Якщо в системі використовується активний елемент у вигляді газового лазера, то його трубка повинна мати свою вісь, яка чітко збігається з віссю резонатора. За наявності в системі рубінових лазерів через можливу неоднорідність кристалів зображення позначки розмивається й активний стержень доводиться орієнтувати суміщенням автоколімаційних позначок від заднього дзеркала, торця стержня та вихідного дзеркала, тобто використовується метод трьох позначок. Він має такі недоліки: не враховується реальне зміщення променя лазера через градієнт заломлення, оскільки після проходження через кристал рубіна промінь може відхилитися на кілька кутових хвилин; неможливо уникнути клиноподібності стержня.

В автоколімаційному методі точність встановлення елементів системи визначається коефіцієнтом збільшення автоколіматора. Якщо дві віддалені точки видно з центра зіниці об'єктива I (рис. 8.33) автоколіматора під кутом α , то з боку окуляра 2 видимий кут $\alpha' = \alpha \cdot M_{KYT}$, де M_{KYT} - кутове збільшення системи, $M_{KYT} = f_{OB} / f_{OK}$. Оскільки роздільна здатність ока дає змогу точно оцінити об'єкт у межах кута $\alpha \approx 60^\circ$, то

$$\alpha'_{PP} = M_{KYT} 60^\circ \quad (8.32)$$

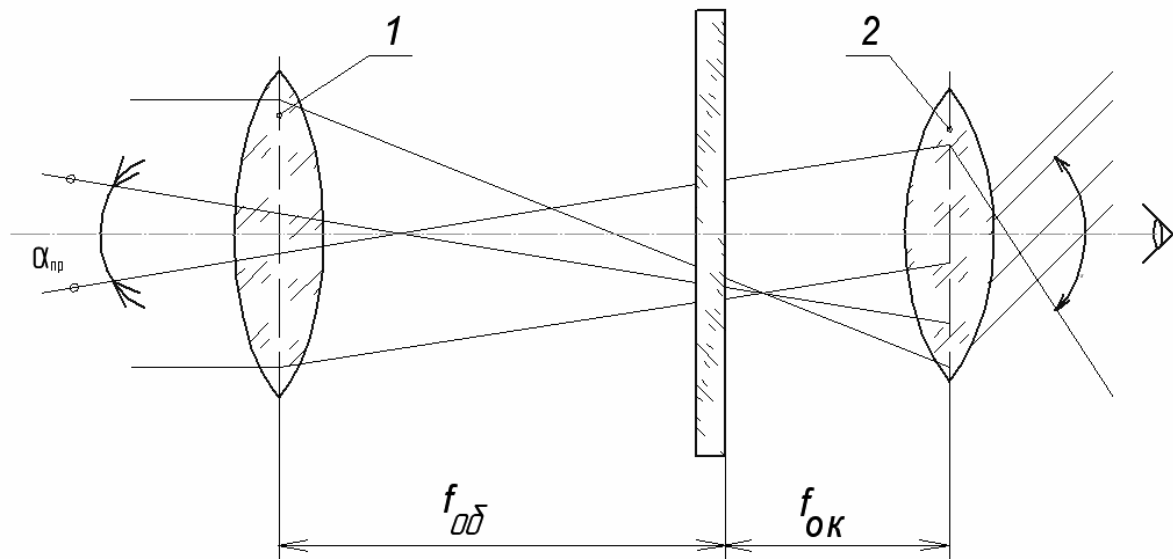


Рис. 8.33. Схема автокалімаційного методу юстирування.

2. Інтерференційний метод.

Сутність методу полягає в тому, що за концентричністю інтерференційної картини на екрані роблять висновок про співвісність резонатора та його дзеркал. На рис. 8.34 схематично показано систему контролю за таким методом.

Промінь від газового лазера 1 проходить крізь отвір екрана 2 і слабо розсіювальну лінзу 3, відбивається від дзеркал резонатора 4 і 5 і повертаючись знову на екран, дає на ньому інтерференційну картину у вигляді концентричних кілець. За похибок складання оптичної системи вся картина або зміщується відносно діафрагмового отвору екрана, або порушується концентричність світлових кілець. Повертаючи гвинтами дзеркала 4 та 5, домагаються чіткої концентричності світлових кілець і центрованості всієї картини відносно світлового отвору екрана. Цей метод, як і попередні, доцільно застосовувати насамперед для плоских резонаторів. За наявності в ньому сферичних дзеркал їх слід діафрагмувати та працювати лише а параксіальними променями.

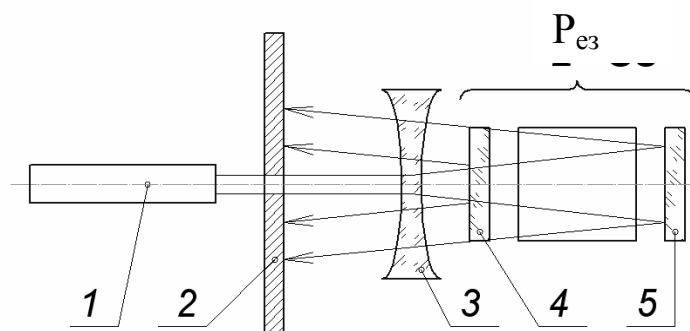


Рис. 8.34. Схема інтерференційного методу юстирування

Глава 9. ВИПРОБУВАННЯ ПРИЛАДІВ

9.1. Загальні поняття про випробування

9.1.1. Основні означення

Випробування виробів є кінцевим етапом процесу їх виготовлення з остаточною перевіркою основних вихідних характеристик, за допомогою якого оцінюють якість продукції, яку випускають, та гарантують її придатність. Оскільки питання якості виробів у приладобудуванні мають першорядне значення, а прилади є дуже чутливими до будь-яких перевантажень, то випробування приладів вважають найголовнішим технологічним процесом виробництва і йому піддають усю продукцію, яку випускають.

Мета випробувань - оцінити якість виробів, які випускають, з точки зору надійності їх роботи та точності вихідних параметрів за певних умов і режимів навантаження та гарантувати заданий технічними умовами ресурс експлуатації. Ці умови роботи та режими навантажень приладів спеціально розробляються та зумовлюються технічними умовами на кожний виріб і мають охоплювати перевірку його роботоздатності за будь-яких можливих екстремальних відхилень характеристик зовнішніх умов середовища на об'єктах експлуатації за весь термін служби. Такі умови роботи приладів називаються натурними.

Натурними називаються випробування виробів за екстремальних умов експлуатації безпосередньо на працюючих об'єктах з одержанням найефективніших даних про надійність системи. Натурні умови часто імітуються на виробництві в лабораторних умовах і поділяються на такі:

1. Стаціонарні умови, коли прилади працюватимуть під час експлуатації в закритих від зовнішнього середовища приміщеннях і спокійних без навантажень умовах.

2. Полеві умови, коли прилади працюють під час експлуатації на відкритому повітрі за будь-яких погодних умов і з певними динамічними перевантаженнями. Ці умови характерні для переносних геодезичних приладів,

ремонтних служб, приладів на рухомих об'єктах тощо.

3. Особливі умови. Вони імітуються для приладів спеціального призначення, які використовуються, наприклад, високо над землею, в космосі, під водою, за високих температур та в інших випадках.

Відмова на випробуваннях (схід з випробувань) - основний критерій оцінки роботоздатності та справності виробу під час проведення випробувань. Відмова може з'явитись у відхиленні роботи приладу за допустимих норм з однієї або з кількох характеристик. Інтенсивність відмов у кожного виду приладів показує на досконалість конструкції, якість процесу виготовлення, можливості виробу.

Така інтенсивність відмов визначається за відомим співвідношенням:

$$\lambda = \frac{n(\tau)}{N \cdot (\Delta\tau)}$$

де $n(\tau)$ - кількість приладів, що відмовили за період часу $\Delta\tau$ в годинах;

N – кількість всіх приладів у випробній партії.

В приладобудуванні випробуванням піддають всі 100% виробів. Кількість приладів у випробній партії, для отримання об'єктивної інформації в залежності від їх складності повинно бути не менше 20÷30.

Відмова приладів під час випробувань може проявлятися або в повній втраті працездатності або в частковій відмові за рахунок виходу одного з робочих параметрів за межі припустимого. При сходженні одного з приладів з випробувань вся партія знімається з подальших випробувань до з'ясування причини відмов - дефекту. Після його усунення на всій партії, вона знову допускається до початку проведення всіх випробувань.

Процедура проведення випробувань

При проведенні всіх випробувальних робіт у приладобудуванні процедури їх проведення включають всі види технічних вимірювань. Сучасні технічні вимірювання за процедурами проведення та за задачами, які ставляться при цьому поділяються на:

1. Реєстрація необхідного параметра
2. Вимірювання величини параметра

3. Визначення придатності параметра
4. Технічна діагностика параметра

Розглянемо коротко такі процедури з постановкою завдання перед кожною і алгоритмом проведення.

1. Реєстрація параметра - при цьому ставитися завдання визначення наявності цього параметра в мережі або в системі, де функція процедури полягає в наступному – є чи немає такого параметру.

Алгоритм проведення такої процедури представлений на рис. 9.1.

При цьому будь-який індикатор чітко вказує на наявність чи відсутність даного параметра x_i .

2. Вимірювання величини параметра - коли ставитися завдання окрім реєстрації параметра ще визначити його дійсну величину в необхідних за стандартом одиницях вимірювання з індикацією значення цієї величини. Алгоритм проведення такої процедури представлений на рис. 9.2., де вона починається з процедури реєстрації, а потім виконується вимірювання даного параметра будь-яким методом.

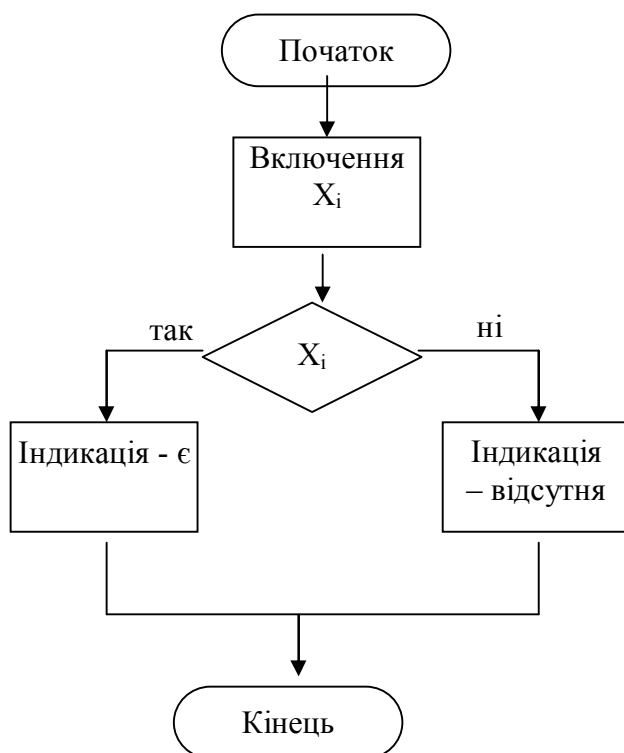


Рис.9.1. Алгоритм реєстрації параметра

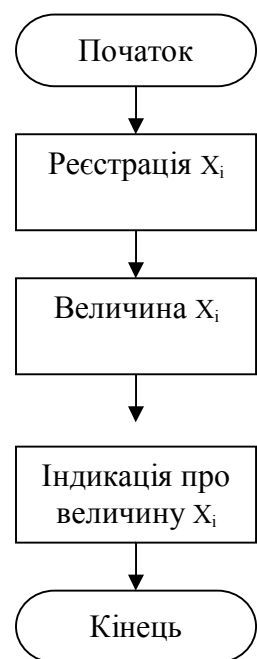


Рис.9.2. Алгоритм вимірювання величини параметра

3. Визначення придатності параметра - це основна процедура виконання всіх випробувань, коли окрім реєстрації параметра x_i та визначення величини цього параметра, ставитися задача по визначенню його придатності. Ця умова встановлена

попередньо та має вигляд:

$$(X_{\max} \geq X_i \geq X_{\min})$$

Якщо ця умова придатності виконана, то даний параметр вважається придатним, а виріб або його вузол виконаний вірно з необхідною точністю. Алгоритм проведення такої процедури представлений на рис. 9.3.

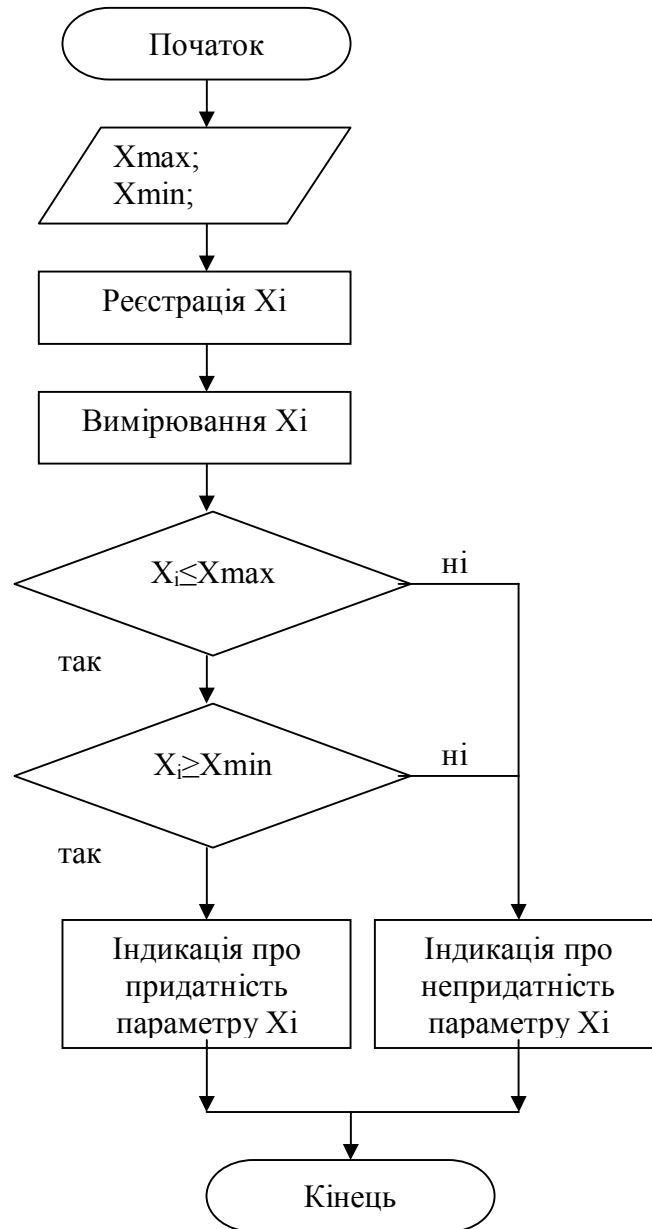


Рис.9.3. Алгоритм визначення придатності параметра X_i

4. Технічна діагностика параметра - це найскладніша за своїми завданнями процедура, яка заключається в проведенні процедури контролю з наступним аналізом технічного якісного стану об'єкту, що діагностується з метою оцінки не тільки придатності його характеристик, але і визначення рівня надійності, працездатності в подальшому.

Для приладів, що володіють невисокою надійністю роботи, це найбільш підходяща методологія оцінки якості виробу, що випускається або його окремих головних робочих вузлів. Розробляються спеціальні тести перевірки якості роботи та знаходження симптомів найближчої відмови або втрати надійності роботи. Це дозволяє провести додаткові роботи по регулюванню виробу з метою підвищення надійності його роботи в подальшому.

Алгоритм такої процедури представлений на рис. 9.4., де показано, що окрім введення умови придатності, необхідно додатково закласти запас надійності у вигляді припустимого відхилення $\Delta x_{\text{доп}}$.

Усі випробування, які проводять на виробництвах, класифікуються з різних поглядів і методик проведення на види, типи, класи та ін., де застосовують різні навантаження - різні режими.

9.1.2. Режими випробувань

Режими випробувань - це задані технічними умовами на виріб певні за величиною та часом різні навантаження системи живильною енергією та зовнішніми збурюючими факторами. Такі режими вибираються виходячи з номінальних значень кожної характеристики. На виробництві зустрічаються три види режимів випробувань:

1. Нормальні, коли випробування виконують з навантаженням до 100%, найбільшим номінальним на всьому діапазоні роботи приладу. Допустиме перевантаження не перевищує 5-10% цього номіналу. Такі режими є основними за всіх різновидів випробувань.

2. М'які, коли випробування виконують зі зниженим навантаженням, що становить 50-70% номінального. Такі режими застосовують за попередніх пробних пусків ланцюгів приладів, їх регулювання та налагодження. Такі режими випробувань охороняють систему приладу від виведення з ладу через можливі помилки виготовлення та складання.

3. Жорсткі, коли випробування виконують зі значними перевантаженнями системи як внутрішньою енергією живлення, так і зовнішніми діями, які

перевищують номінальні в 1,5-2 рази, а з електроструму можливо у 3-5 разів. Такі режими застосовуються рідко, звичайно для деяких видів приладів в процесі прискорених випробувань.

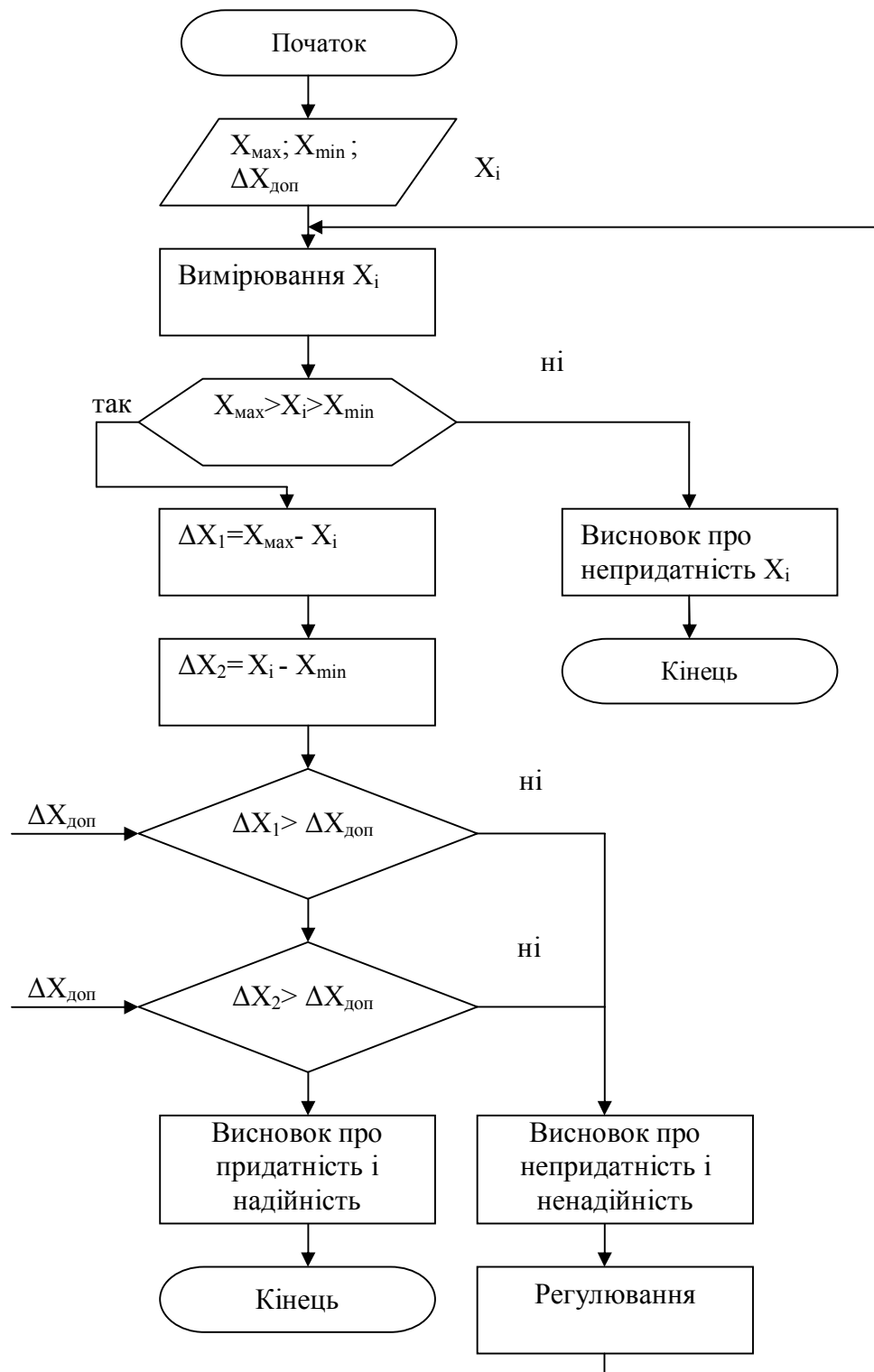


Рис. 9.4. Алгоритм тестового технічного діагностування.
 $\Delta X_{\text{доп}}$ – запас надійності

9.1.3. Різновиди випробувань.

В приладобудуванні на виробництвах при кінцевій атестації продукції, яка випускається, використовуються наступні різновиди випробувань, які класифікуються на наступні групи:

1.**За методикою** проведення вони поділяються на *контрольні і перевірочні*;

2.**За змістом робіт** вони поділяються на *загальні і спеціальні*;

3.**За задачами** вони поділяються : *випробування на витривалість і стійкість*;

Розглянемо детально кожне випробування.

1.**За методикою** вони бувають:

1.1. Контрольні випробування – це основний вид випробувань на виробництві для визначення якості, тобто придатності і надійності продукції, що випускається. Вони проводяться службою ОТК за заздалегідь встановленою чіткою методикою згідно ТУ на кожен виріб в повному обсязі по усьому переліку навантажень і вимірювань над усіма 100% приладів з обов'язковою атестацією отриманих результатів. Такі випробування проводяться обов'язково з імітацією натурних умов протягом часу, необхідного для об'єктивності оцінки якості і видачі певних гарантій надійності роботи прилада протягом усього його ресурсу служби.

1.2. Перевірочні випробування проводяться самим сборщиком як попереднє опробування при регулюванні характеристик приладу, який збирається, чи його окремих вузлів. Вони проводяться без чіткої методики, зазвичай при м'яких режимах по окремим видам навантажень. Часто вони закінчуються обкаткою всієї системи прилада по перевірці працездатності.

2. **За змістом проведення процедури робіт по випробуванню** приладів ці випробування поділяються на загальні та спеціальні.

2.1. Загальні випробування характеризуються тим, що процедури їх проведення, обладнання, що використовується, види навантажень і поставлені цілі *аналогічні* для різних приладів та систем. При проведенні таких випробувань відрізняються лише величини навантажень та час їх прикладення, згідно до натурних умов по ТУ на кожен виріб, при яких він (прилад) буде експлуатуватися, з врахуванням можливих екстремальних перевантажень.

До таких випробувань можна віднести механічні випробування на вібрацію, електричні випробування на перевірку використовуваної потужності, опору ізоляції електричної системи, сили струмів та напруг на окремих приладах електросхеми, характеристики теплонагрівання і т.п. При цьому використовується однакове обладнання, пристрої контролю та методики проведення робіт.

2.2. Спеціальні випробування характеризуються своєю специфікою умов роботи даного прилада на об'єкті в період експлуатації та специфічним видом навантажень. Вони призначаються по ТУ на ті прилади, які працюють при експлуатації в *особливих* умовах і потребують певних додаткових умов їх перевірки.

В таких випадках розроблюється особливий зміст перевірочних робіт, що проводяться, нове, специфічне обладнання для імітації натурних умов при випробуваннях та створюються особливі методики проведення цих специфічних робіт. Інколи, коли натурні умови на заводі створити неможливо, такі випробування проводять на об'єктах експлуатації в натуральних умовах роботи приладів певний час обкатки.

3. За задачами проведення всіх вище вказаних випробувань їх можна поділити на два різновиди за характером та часом навантаження приладів зовнішніми та внутрішніми впливами. Це випробування на витривалість роботи приладу чи на стійкість його роботи. Розглянемо детальніше.

3.1. Випробування на стійкість роботи перевіряемого прилада мають основну задачу - перевірити міцність та стійкість системи приладу, реакцію його конструкції на різні види *навантажень* з подальшим зняттям навантаження та включенням цього приладу в роботу з повною перевіркою по програмі його працездатності та точності.

Такі випробування характерні для перевірки характеристик електричних кіл чи для приладів, які працюють в жорстких польових умовах і, звичайно, які працюють в особливих умовах по певним видам навантажень.

Процедура проведення таких випробувань (див. рис.9.5.) полягає в попередньому навантаженні приладу чітко визначеним фізичним навантаженням U , згідно з екстремально можливим варіантом при експлуатації цього приладу, з певним часом витримки τ_k . Після відключення чи зняття навантаження на систему, прилад включається в роботу и виконується перевірка точності його роботи по всьому

діапазону.

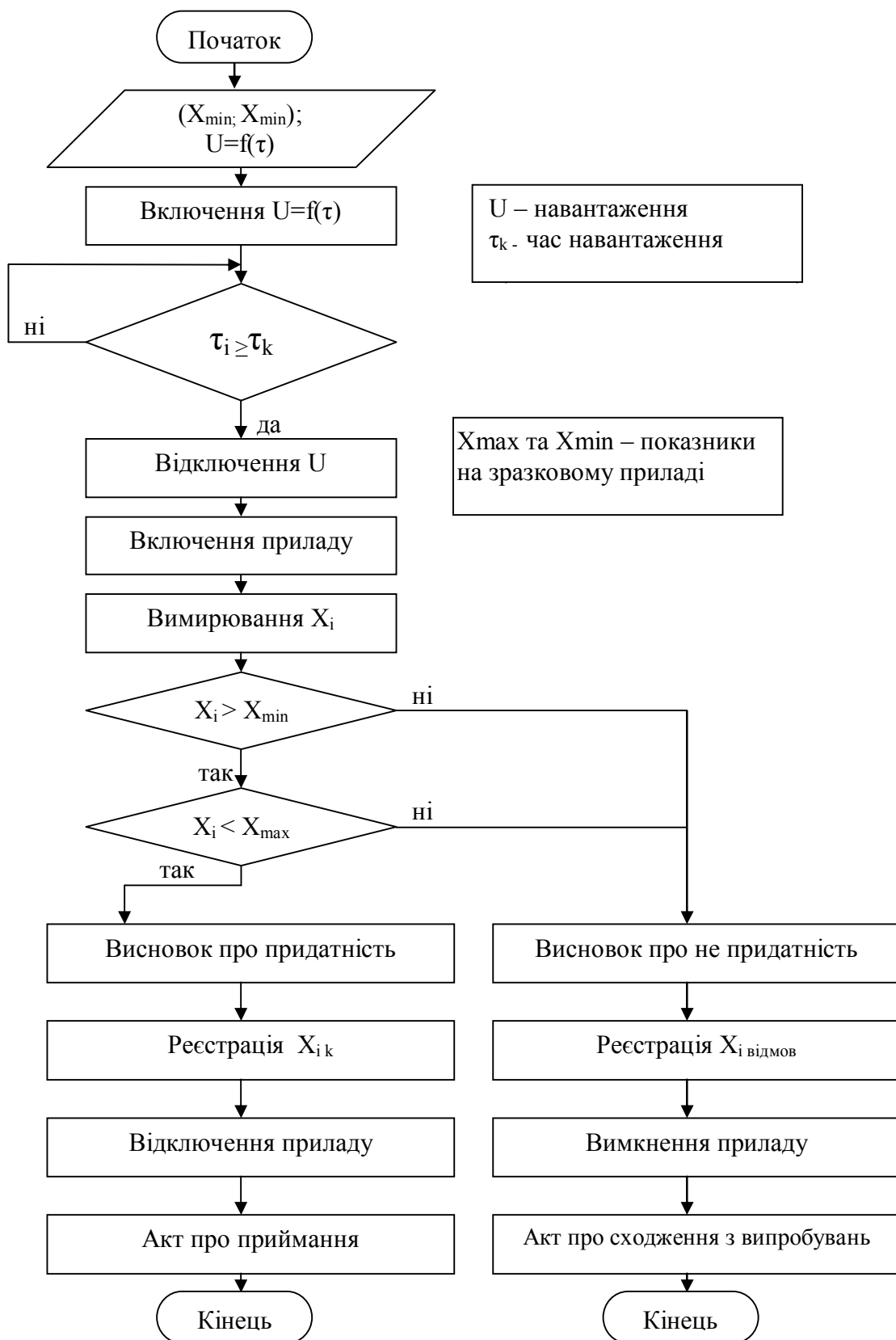


Рис. 9.5 Блок-схема алгоритму проведення випробувань на стійкість

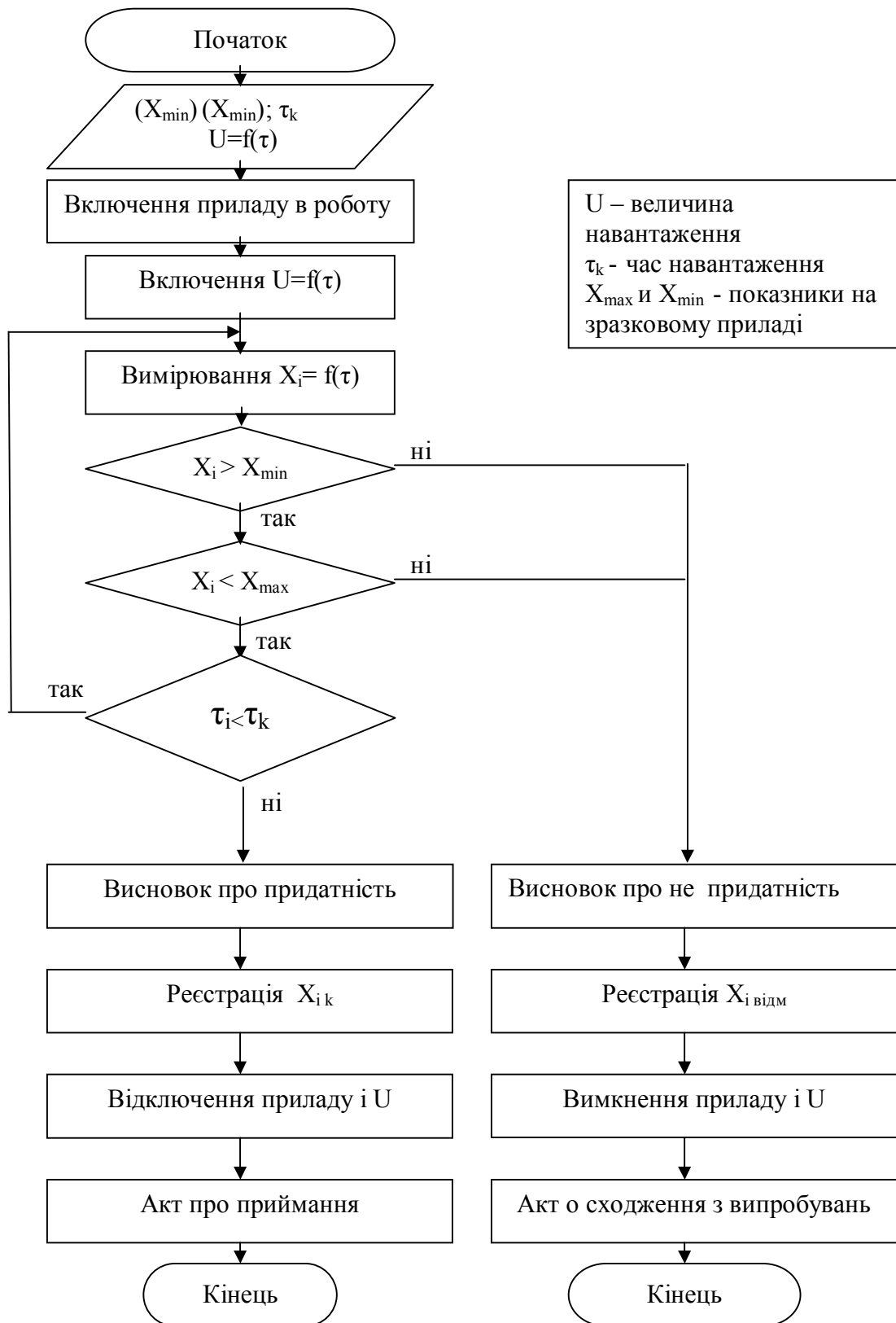


Рис.9.6. Блок-схема алгоритму проведення випробувань на витривалість.

Точність роботи такого приладу, що випробовується, перевіряється по паралельно працюючому зразковому приладу чи групі таких приладів (для надійності), які не підлягали навантаженням. Неузгодженість в показаннях випробовуваного приладу і дослідного має знаходитись в допустимих межах. Якщо

ця неузгодженість більше допуску, то прилад вважається зійшовшим з випробувань і вся партія таких приладів відправляється на перевірку.

3.2. Випробування на витривалість роботи випробуваного приладу мають задачу - перевірити працездатність цього приладу при впливах на нього певних можливих екстремальних перевантажень, які можуть виникнути при експлуатації згідно ТУ на даний виріб. Процедура проведення таких випробувань представлена алгоритмом на рис.9.6. і передбачає накладання таких зовнішніх чи внутрішніх навантажень U на працюючий прилад і витримка в такому стані певний час τ_k .

Прилади включаються в роботу. Потім умови роботи змінюються шляхом накладання навантаження U і проводяться, після певної витримки, заміри показань цих приладів. Точність роботи при цьому порівнюється з показами зразкових приладів, що не підлягають навантаженням. Умови придатності ($X_{\min} < X_i < X_{\max}$) витримується обов'язково, де допустимі межі відхилень регулюються зразковими приладами.

Якщо прилади працюють в межах умов придатності, то вони оформлюються як придатні, якщо ж не вкладаються в задані межі, то знімаються з випробувань.

Другий випадок - випробування на стійкість більш об'єктивний і тому трапляється на виробництві значно частіше, ніж перший.

9.1.4. Способи проведення випробувань

Щоб підвищити об'єктивність та достовірність інформації про результати випробувань, випробуванням потрібно піддавати паралельно кілька однакових приладів. Способи проведення випробувань визначаються послідовністю їх виконання. Застосовують такі способи:

1. Послідовний спосіб проведення випробувань полягає в роздільній і почерговій дії на систему приладу різних навантажень із реєстрацією результатів за кожним видом випробувань. Це дає змогу з великою точністю виявити вплив кожного окремого фактора на працездатність приладу, швидко визначити дефект і усунути його. Але такий спосіб не дозволяє мати вірогідну інформацію про надійність роботи системи виробу, оскільки натурні умови дії кількох зовнішніх

факторів одночасно не виконуються. Водночас різко зростає цикл проведення випробувань, уповільнюється темп випуску виробів.

2. Комплексний спосіб проведення випробувань полягає в одночасній дії на систему приладу кількох збурюючих факторів. Кількість і поєднання таких факторів визначаються комплексними умовами експлуатації виробу на об'єкті, тобто натурними умовами. Так, авіаційні прилади можуть піддаватися водночас дії вібрації, лінійних прискорень, перепаду температур і тисків. Перелік усіх одночасно діючих факторів для різних приладів дуже відрізняється, точне комплексне їх відтворення або імітація в лабораторних умовах виробництва викликає великі труднощі та складності, що змушує обмежувати перелік навантажень на одному випробуванні. Одночасно в разі дії кількох факторів на прилад та його відмови ускладнюється пошук причини злому або перебою. Але за комплексних випробувань набагато скорочується цикл технологічних випробувань і зростає продуктивність випуску продукції.

3. Комбінований спосіб проведення випробувань містить методики проведення обох щойно перелічених способів. Вироби піддаються спочатку комплексним випробуванням у разі дії на них кількох факторів одночасно, що наближує умови до натурних і підвищує вірогідність одержуваної при цьому інформації. Потім послідовним способом виконуються випробування з певного навантаження по чергово одним, двома тощо факторами, за якими звичайно виникають відмови даної конструкції. Це дає змогу значно скоротити тривалість випробувань і чіткіше визначити причини відмов.

9.2. Види випробувань

Випробування класифікують за видами, характером навантажень і умов проведення. Вид і характер навантажень на систему приладу вибирають виходячи з видів приладу, енергії, що живить прилад, умов експлуатації на об'єктах, поставлених під час випробувань завдань. У приладобудуванні широко застосовуються такі види випробувань: електричні, механічні, кліматичні та спеціальні (особливий вид).

Кожний вид випробувань має власну мету та завдання, власну визначену програму проведення та режими навантажень, регламентовані в технічних умовах на кожний виріб нормативними матеріалами. Загальні випробування регламентуються нормативами та стандартами, спеціальні - відомчими нормами та інструкціями. У ході розробки цих матеріалів враховано вимоги державної служби стандартів і мір, яка виконує контроль за дотриманням єдиних, встановлених у нашій країні та за кордоном одиниць, мір, точності їх відтворення вимірювальною апаратурою та основних метрологічних законів. Розглянемо основні види загальних випробувань у приладобудуванні.

9.2.1. Електричні випробування

Основна мета таких випробувань - оцінити якість дотримання основних електричних параметрів і характеристик електричних кіл приладів. Такі випробування виконуються для електровимірювальних приладів або приладів, конструкція яких містить різні електричні перетворюючі кола. При цьому перевіряють такі основні характеристики електросхеми та її елементів: силу струму та вихідну напругу в певних точках схеми, загальний омичний опір усього кола, омичний опір обмоток та інших елементів схеми, опір ізоляції провідників та її електричну міцність, наявність короткозамкнених витків в обмотках, силу струму спрацьовування перемикаючих реле, надійність роботи контактів і рухомих струмознімачів, споживану потужність пристроїв тощо. Під час проведення таких випробувань часто застосовують жорсткі режими, особливо в разі перевірки якості застосовуваної в системі ізоляції.

1. Перевірка напруги та сили струму.

Дані випробування характерні для приладів, які мають складні електричні схеми, виконані за допомогою навісного, провідникового або друкованого електромонтажу. Перевірка точності дотримання величини напруги та сили струму в різних точках електрокіл схеми приладу, яка завжди зумовлена в технічних умовах як строго розрахована величина, дозволяє встановити правильність виконання з'єднань у схемі, точність вибору або регулювання характеристик елементної бази,

точність спрацьовування перетворюючих пристроїв системи.

Такі характеристики контролюють послідовно згідно з тестовою програмою опитування за заданими точками схеми вимірюванням справжніх значень даних параметрів і порівнянням їх із заданими. У дрібносерійному виробництві для цього застосовують універсальні тестори та осцилографи, робота з якими трудомістка, потребує високої кваліфікації оператора та великої уваги. У серійному та масовому виробництві такий ручний контроль не задовольняє вимоги високої продуктивності та надійності процесу. У таких випадках вхідні та вихідні напруги і силу струму перевіряють на спеціалізованих контрольно-вимірювальних стендах, де тестове опитування характеристик схеми виконується за певною заданою програмою, в напівавтоматичному або автоматичному режимі. Такі стенди мають вимірювально-аналогові пристрої збирання та переробки інформації та вихідні записувальні блоки реєстрації результатів або їх індикацій. Для цього доцільніше застосовувати спеціальні мікропроцесорні пристрої зі записувальними системами результатів тестового опитування, які разом із тим визначають ті точки схеми приладу, в яких є відхилення характеристик від допустимих меж.

2. Перевірка омічного опору обмоток.

Такі випробування виконують для приладів, схеми яких мають можливі пристрої з електрообмотками: електромагнітні реле та дроселі, трансформатори, електродвигуни, гальванорамки тощо.

Перевірка виконується звичайно на зразкових спеціальних або універсальних електричних мостах, які мають діапазон вимірювання від 0,01 Ом до 10 МОм. Для розширення діапазону вимірювання та збільшення точності роботи такі мости звичайно мають багатоступеневе налаштування еталонних зразкових опорів.

На рис. 9.7 показано електричну схему триступеневого зразкового вимірювального моста. Плече налаштування балансу та вимірювання I цього моста має три таких налаштовувальних змінних опори: R_{M1} , R_{M2} та R_{M3} . Верхній рівень передбачав встановлення верхнього діапазону вимірювань і має ціну поділки шкали до 10 кОм. Другий і третій нижні рівні служать для вимірювання справжнього опору, обмоток приладу й мають ціну поділки шкал відповідно в омах і 0,01 Ом, що дає змогу точно налаштувати міст. Загальний опір такої паралельної схеми

$$R_M = \frac{R_{M1}R_{M2}R_{M3}}{R_{M1}R_{M2} + R_{M2}R_{M3} + R_{M1}R_{M3}}. \quad (9.1)$$

Роботу такого моста розглянемо на прикладі найскладнішого контролю омичного опору обмоток трифазного електродвигуна зі з'єднанням полюсів зіркою, в якого кожне коло обмотки має заданий опір: r_1 , r_2 та r_3 . Вимірюють ці опори за умови схеми обмоток тільки попарно: $r_1 + r_2$; $r_2 + r_3$; $r_1 + r_3$. Вивідні кінці двох сусідніх обмоток двигуна 3 по чергово вмикають до клем моста K . Залежно від номінального значення опору обмоток встановлюють співвідношення плечей балансної ланки 2 моста за рахунок регулювання змінних еталонних опорів R_{E1} та R_{E2} . Чим менші значення опорів r_1 , r_2 та r_3 , тим меншим встановлюється співвідношення $\frac{R_{E1}}{R_{E2}}$, яке може дорівнювати 0,001; 0,01; 0,1; 1,0.

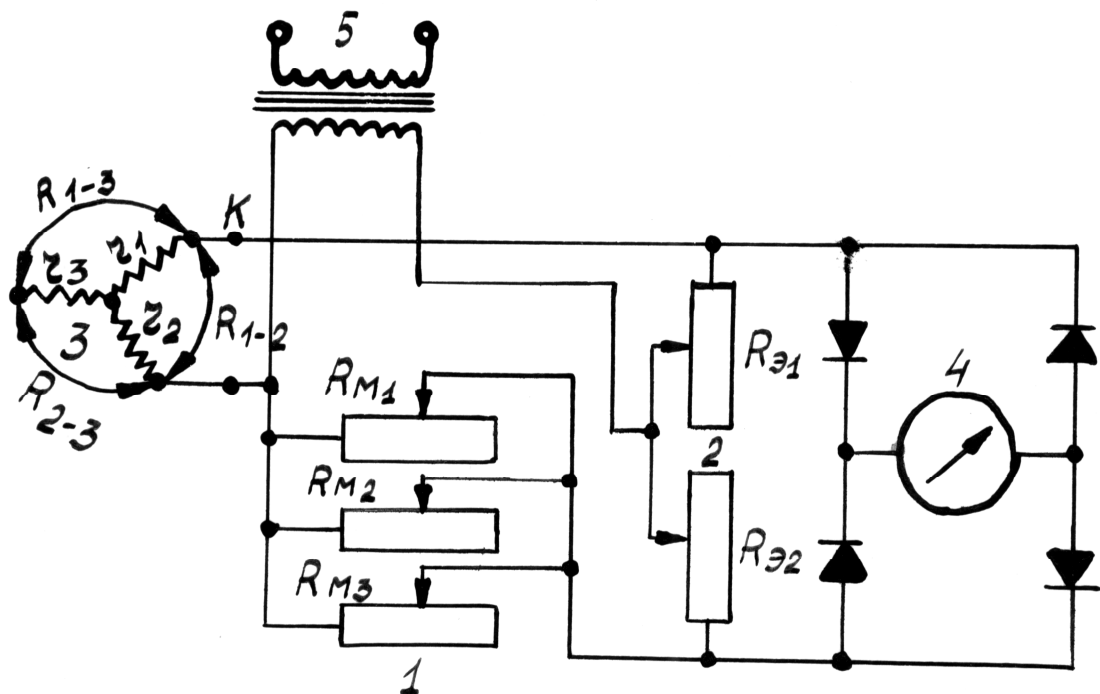


Рис. 9.7. Електрична схема універсального вимірювального моста

Потім за допомогою встановлення відповідних змінних резисторів плеча вимірювання I моста настроюють його опір R_M таким, що дорівнює опору обмоток при $R'_M = R_{1-2}$. Цей процес контролюється за допомогою гальванометра 4, стрілка якого має стати в нульове положення, показуючи, що міст цілком збалансовано і струм у його колі відсутній. Аналогічно визначають опір попарно двох фаз і реєструють покази шкал зразкових потенціометрів: $R'_M = R_{1-2}$; $R''_M = R_{2-3}$;

$R_M'' = R_{1-3}$. З умови з'єднання схеми можна записати

$$R_{1-2} = r_1 + r_2; \quad R_{2-3} = r_2 + r_3; \quad R_{1-3} = r_1 + r_3.$$

Тепер можна розрахувати шукані опори:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,5 \cdot (R_{1-2} + R_{1-3} - R_{2-3}) \\ r_2 &= 0,5 \cdot (R_{1-2} + R_{2-3} - R_{1-3}) \\ r_3 &= 0,5 \cdot (R_{1-3} + R_{2-3} - R_{1-2}) \end{aligned} \quad (9.2)$$

Одержані значення опорів обмоток порівнюють із заданими технічними умовами на виріб. Розузгодження має перебувати в межах допуску. У ході випробувань намагаються, щоб температура середовища становила приблизно 20°C. У разі відхилення від цієї умови з'являється методична похибка вимірювання. Щоб уникнути її, коректують результати вимірювання, розраховуючи справжнє значення опору:

$$R_{СП} = 255 \cdot R_t / (235 + t), \quad (9.3)$$

де R_t - опір фаз двигуна приладу за температури навколишнього середовища t .

3. Перевірка опору ізоляції.

Це одне з найважливіших випробувань приладу на стійкість, яке дає змогу оцінити відповідальну характеристику його електричних кіл - діелектричні властивості ізоляції. Опір ізоляції електричних кіл низькострумових приладів відносно їх металевих елементів і корпусу за нормальної температури та вологості згідно з ГОСТ 1845-70 має бути не меншим як 40 МОм. У приладах із підвищеною напругою (тобто якщо вона перевищує 1000 В) такий опір ізоляції має становити до 100 МОм. Якщо ці умови не справджуються, то можлива значна втрата електричного струму через ізоляцію, можливий її пробій, порушуються струмові характеристики системи.

Опір ізоляції вимірюється мегометрами - приладами високої чутливості до малих струмів визначенням сили струму витоку через ізоляцію провідників. Такий опір ізоляції

$$R_{i3} = U / I_B, \quad (9.4)$$

де U - стала прикладена до полюсів приладу напруга, В; I_B - сила струму витоку, яку реєструє мегометр, підімкнений до ізоляції провідника, що вимірюється

за хвилину після прикладення напруги, мкА. Найширше застосовуються магнітоелектричні мегомметри з ручним приводом типу МП01 або МП02 та універсальні багатограничні електронні мегомметри з перемиканням подаваної напруги в значеннях 100, 250, 400, 500 В.

Опір ізоляції перевіряють за двома методиками. Перша передбачає вимірювання опору між провідником і корпусом виробу, а друга дає змогу визначити його між сусідніми провідниками.

4. Перевірка електричної міцності ізоляції.

Це важлива перевірка на стійкість багатьох електричних кіл приладів щодо визначення діелектричних характеристик застосовуваної на провідниках ізоляції. Під електричною міцністю ізоляції провідника розуміють здатність цієї ізоляції витримувати певну прикладену до провідника напругу. Кількісно міцність характеризується величиною пробивної напруги.

Під час проведення випробувань на таку міцність прикладати до електросхеми приладу пробивну напругу не можна, оскільки це призведе до виведення з ладу випробовуваних виробів. Тому навантаження напругою призначають згідно з ГОСТ 1845-70 із перевищенням у кілька разів звичайного номінального значення. При цьому амплітудно-частотні та фазові характеристики струму навантаження мають відповідати справжнім номінальним режимам нормальної роботи виробу. Так, за нормальної робочої напруги до 100 В величина напруги, що докладається за випробувань, застосовується з перевищенням у 5 разів, а за робочих напруг 150...600 В випробовувана напруга береться 2000 В.

Місця вмикання струму зумовлюються технічними умовами на виріб або спеціальними нормами на широко використовувані електроузли. Випробування виконуються за допомогою встановленого на металеву основу приладу, який має огороження для захисту обслуговуючого персоналу, з поступовим підвищенням напруги за 5...10 с до заданого значення. Виріб витримують під навантаженням 1...3 хв. При цьому не повинні спостерігатися закиди струму живлення по контрольних приладах, що характеризує наявність пробою ізоляції, а також ковзних розрядів або світіння. Усі ці явища реєструються візуально або спеціальною апаратурою.

5. Перевірка нагрівання обмоток.

У конструкціях приладів існує багато різних електричних обмоток. Індукційні та резисторні обмотки за відхилень у технології складання можуть значно нагріватися, що призводить до зміни їх характеристик. Тому у відповідальних випадках, необхідна перевірка обмоток щодо нагріву.

Такий вихідний контроль, ґрунтується на зміні омичного опору індукційних обмоток у разі зміни їх температури. Для цього застосовують описані раніше універсальні мости опорів. Вимірюють опір R_0 обмоток до введення в роботу в холодному стані. Ці дані можна взяти з випробувань вимірювання омичного опору обмоток, які розглянуто раніше. Потім після 2...3 год. роботи приладу під струмовим навантаженням вимірюють опір обмотки, виведеної з роботи, й визначають його кінцеве значення R_K . На підставі одержаних даних розраховують середню температуру нагрівання обмотки:

$$t_{CP}^O = \frac{R_K - R_0}{R_0} (235 + t_0^0 + t_K^0), \quad (9.5)$$

де t_0^0 , t_K^0 - температура навколишнього середовища під час вимірювання відповідно R_0 та R_K .

Справжня температура перегрівання в окремих місцях обмотки може на 10-20% перевищувати середню залежно від конструкції. Слідкують за тим, щоб вона перебувала в межах, заданих технічними умовами на виріб.

9.2.2. Механічні випробування

Механічні випробування - це перевірка працездатності приладу в разі накладання на нього різних механічних навантажень, вид і значення яких визначається екстремальними натурними умовами експлуатації виробу.

Зміст і методика проведення загальних механічних випробувань для більшості приладів подібні й відрізняються в основному тривалістю та величиною навантаження. При цьому перевіряється міцність конструкції та одержаних під час складання її з'єднань, жорсткість стиків, перешкодостійкість кінематичних ланцюгів приладу від періодичних або великих разових динамічних дій, їх віброзбудження. За

всіх таких випробувань основними показники, що контролюються, є точність і стабільність роботи виробу.

Залежно від характеру дії, яка накладається, механічні випробування поділяють на вібраційні, ударні, відцентрові прискорення та транспортні навантаження. При цьому система приладу перевіряється з працездатності на стійкість або сталість залежно від часу введення приладу в роботу - під час або після накладання навантаження. Такі випробування звичайно виконують за нормальних кліматичних умов.

У механічних випробуваннях величину діючого на систему приладу механічного навантаження прийнято оцінювати коефіцієнтом перевантаження I_g , який показує, у скільки разів прискорення a руху пристрою під навантаженням перевищує прискорення сили ваги g ($2g$; $5g$ тощо):

$$I_g = a / g. \quad (9.6)$$

У випробуваннях на вібраційні навантаження, де коливання виробів відбуваються за гармонічним синусоїдним законом, максимальне прискорення

$$a_m = \omega^2 A, \quad (9.7)$$

де ω - колова частота вібрації, рад/с; A - амплітуда коливань, мм.

Тоді рівняння (9.6) набере вигляду

$$I_g = \frac{a_m}{g} = \frac{\omega^2 A}{g} = \frac{Af}{250}, \quad (9.8)$$

де f - частота коливань, Гц.

Значення I_g задається технічними умовами виходячи з реальних умов експлуатації виробу.

1. Вібраційні випробування.

Такий вид механічних випробувань передбачає перевірку надійності роботи приладу за значних періодичних коливань. Випробування виконуються на вібростійкість або вібросталість за дії коливань на ввімкнений або вимкнений прилад. Програма проведення цих випробувань передбачає накладання вібродії на систему з фіксованою певною частотою або з періодичною її зміною у визначених межах, тобто на так званій плаваючій частоті. Амплітудні характеристики

встановлюють наперед і звичайно в процесі випробувань не змінюють. Випробування на вібростійкість найчастіше виконують на фіксованих амплітудно-частотних характеристиках коливань, а на вібросталість - на плаваючих режимах з плавною зміною частоти від нижчої межі до верхньої й назад протягом 3...5 хв.

Для таких випробувань найчастіше застосовують механічні вібростенди, які характеризуються максимально допустимою вагою навантаження стола; діапазоном відтворюваних частот коливань; діапазоном амплітуд зміщення вібростолу.

На заводах найширше застосовуються такі стенди: ВУС70/200 - для виробів масою до 70 кг, з частотою 10...200 Гц і коефіцієнтом перевантаження до 8g; ВС-68 - для виробів масою до 15 кг, з частотою 10...100 Гц, коефіцієнтом перевантаження до 25g; вібростенди серії „Асканія” (Німеччина) для приладів масою 15...30 кг, з частотою 10...250 Гц і коефіцієнтом перевантаження 5...20g та ін. Усі перелічені прилади - інерційної механічної дії за рахунок виникнення інерційної відцентрової сили в обертових ексцентриків у середині вібратора столу. Сумарна інерційна сила вібратора

$$P_{in} = m_z \Omega^2 \rho,$$

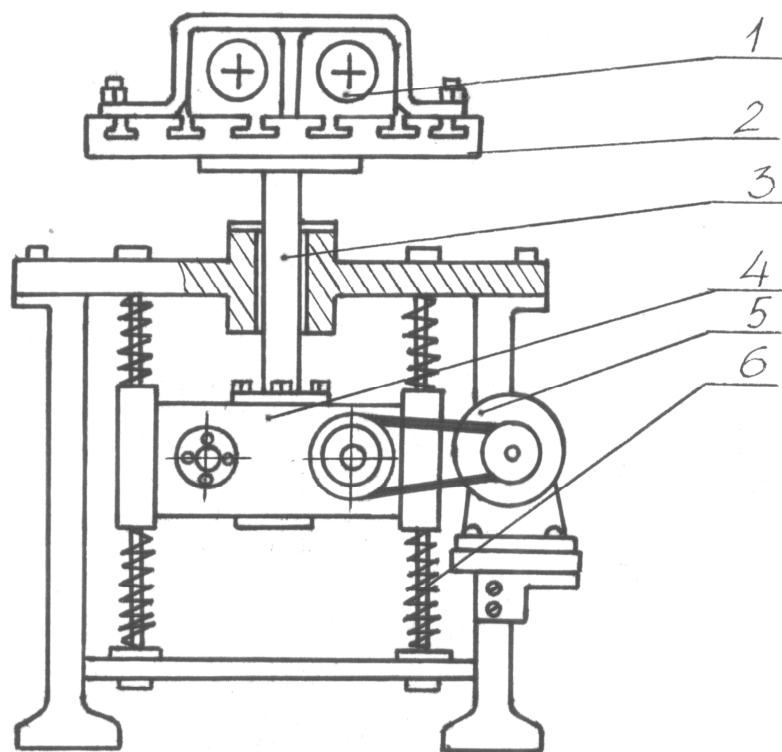
де m_z - сумарна маса всіх ексцентриків, кількість яких звичайно 4 або 8; Ω - частота обертання, рад/с; ρ - зміщення центра мас ексцентриків з осі обертання, мм.

Схему такого вібростенда та принцип роботи вібратора зображено на рис. 9.8. Випробовувані прилади І (рис. 9.8,а) кріплять на столі стенда 2, коливання якого забезпечує підвищений на пружинах 6 вібратор 4. Усередині цього вібратора на двох паралельних осях розміщено пакет ексцентриків, обертання яких забезпечує через клинопасову передачу синхронний електродвигун 5. Затягуванням пружин підвісу регулюється амплітуда коливань. Принцип збудження вібрації показано на схемах 9.8,б,г. Ексцентрики обертаються в різні боки й за розташування їх у протифазі (рис. 9.8,в) інерціальні сили P_{in} взаємно зрівноважуються і горизонтальних навантажень стенд не зазнає. У разі збігання напрямів сил (рис. 9.8,б,г) сумарна інерційна сила розгойдує стіл 2. Регулюючи частоту обертання синхронного двигуна, змінюють частоту вібрації.

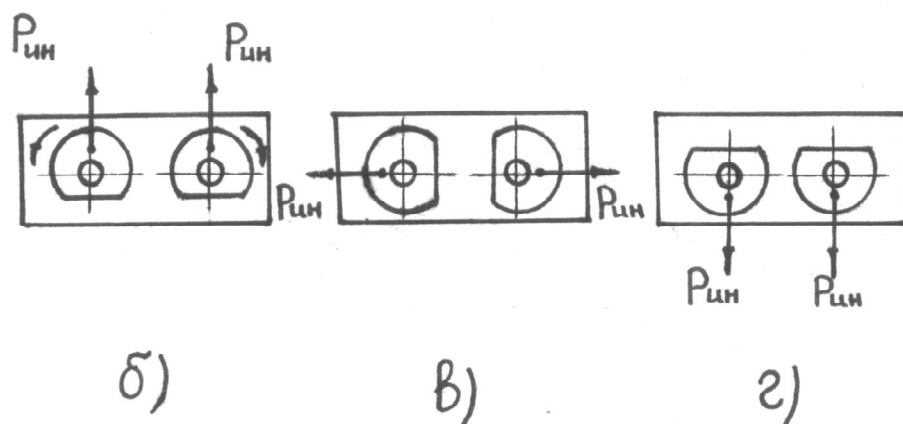
Сучасні вібростенди оснащені фотоелектричними датчиками реєстрації амплітудно-частотних характеристик і автоматичним блоком керування програмою

випробування.

~



а)



б)

в)

г)

Рис. 9.8. схема випробного вібростенда (а) та дія інерційних сил у вібраторі (б-г)

Вібровипробування виконують у такій послідовності. Якщо прилад перевіряють на вібростійкість, то його витримують 2...3 год. під вібрацією з відповідними режимами, за технічних умов, а потім перевіряють роботу за програмою контрольних випробувань. У разі перевірки вібросталості приладів вмикають їх системи в роботу безпосередньо на стенді, а після 10 хв. роботи приладів на всьому діапазоні показників за вібрації на плаваючих режимах. Віброциклювання виконують протягом 1...2 год. після чого прилади перевіряють за

програмою контрольних випробувань.

Залежно від застосовуваних амплітудно-частотних характеристик вібраційні випробування на виробництві звичайно поділяють на вібраційні та трясові. Перші виконуються на частотах понад 10 Гц за амплітудами до 30 мм. Випробування на трясостійкість і трясосталість виконують на нижчих частотах (1...10 Гц) за амплітуд понад 50 мм. Для цього застосовують кривошипно-важільні стенди, що мають можливість регулювати амплітуду розгойдування до 500 мм. Широко відомий, наприклад, стенд НВС-3, який випускається серійно і дає змогу встановлювати на стіл виробу масою до 50 кг, має частоти 1...20 Гц і створює перевантаження до 10g. Методика виконання трясових випробувань аналогічна вібраційним. Таким випробуванням піддають в основному морські прилади.

2. Випробування на ударні навантаження.

Такі випробування виконують для приладів, які працюють у польових умовах і на рухомих об'єктах: наземному транспорті, літаках і ракетах, морських суднах, катерах тощо. Ударні випробування характеризуються великим коефіцієнтом перевантаження, що досягає 100g...500g, та малими імпульсами гальмування в мілісекундах. При цьому особливу увагу приділяють характеру відтворюваних ударів, які поділяють на такі, що мають характерні особливості перевантаження об'єкта:

1. М'які ударні, що мають I_g в межах 50g...100g.
2. Напівм'які, які мають I_g в межах 100g...250g.
3. Середні, які мають I_g в межах 150g...200g.
4. Напівжорсткі, які мають I_g в межах 200g...300g.
5. Жорсткі, які мають I_g до 500g.

Звичайно прилади перевіряють на ударостійкість. Мета таких перевірок - оцінити міцність зібраної конструкції, приладу, якість зварних, спаяних і склеєних з'єднань, жорсткість стиків деталей, стійкість рухомих опор у кінематичних ланцюгах виробу, надійність кріплення всіх елементів виробу.

На виробництві такі великі механічні перевантаження для виробів створюють на спеціальних ударних стендах, які працюють за принципом вільного падіння столу

стенда на підставці певної жорсткості. Стенди характеризуються такими показниками: діапазоном ударних прискорень в одиницях g , частотою ударів, найбільшою висотою падіння столу, масою встановлюваних на нього приладів. Ударне прискорення, тривалість і характер зміни ударного імпульсу регулюються висотою падіння столу і пружністю (або жорсткістю) прокладок. Чим менша висота падіння стола за випробувань і еластичніше встановлено прокладки, тим менше ударне прискорення і більша тривалість ударного імпульсу, тобто менше навантаження.

Наприклад для різних ударів застосовують найчастіше такі прокладки, які мають різну пружність:

- для м'яких ударів – технічну гуму;
- для напівм'яких – твердий пластик;
- для середніх – дерево (бук або дуб);
- для напівжорстких – м'яку сталь;
- для жорстких – загартовану сталь.

У приладобудуванні найширше застосовуються стенди УУЕ-20/200, УИУ-1, УИУ-2 або групи „Асканія”. Схему будови таких стендів показано на рис. 9.9. На столі стенда 2 кріплять випробовувані прилади 1. Стіл періодично з певною частотою піднімають через ролик 3 кулачком-ексцентриком 5 і вільно опускають з висоти h на прокладки певної жорсткості 6. Строго вертикальне переміщення забезпечують напрямними стола 4. Кількість ударів реєструють спеціальними лічильниками.

За призначення режимів ударних випробувань за технічних умов мають повністю зумовлюватися крім величини перевантаження і тривалості ударного імпульсу також частота повторення ударів столу за 1 хв. та загальна кількість ударів на

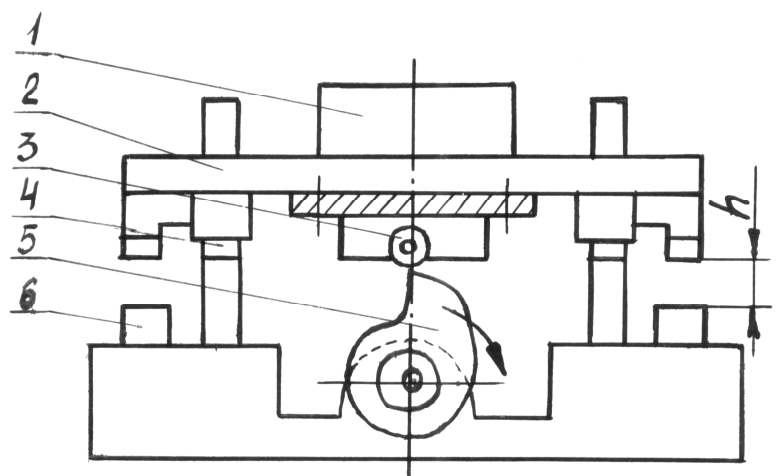


Рис. 9.9. Схема стенда для випробування приладів на ударні навантаження

весь період таких випробувань. Після завершення навантаження прилади піддають перевірці за програмою контрольних випробувань.

3. Випробування на лінійні перевантаження.

Такому виду механічних випробувань звичайно піддають авіаційні або ракетні прилади, які зазнають значних перевантажень за переміщень об'єкта в процесі польоту. У виробничих умовах ці випробування виконуються швидким обертанням виробу на столах стендів-центрифуг. Вони характеризуються максимальним лінійним прискоренням у разі зміни частоти обертання центрифуги і маси встановлюваних на неї приладів. Найширше застосовується центрифуга ЦФ-50/150. Потрібна частота обертання центрифуги

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{I_g}{R}} \quad (9.9)$$

де I_g - заданий технічними умовами коефіцієнт перевантаження об'єкта; R - радіус обертання виробу, м.

Такі випробування звичайно виконують за програмою сталості приладів до лінійних перевантажень. Тому після встановлення та кріплення на обертовому столі прилади вмикаються до роботи, а потім дається обертання центрифуги. Правильність роботи приладів перевіряють протягом 1...2 год., звіряючи показники зі зразковими приладами, які працюють паралельно.

На рис.9.10. показана схема перевірки роботи приладів на центрифугі на лінійні прискорення.

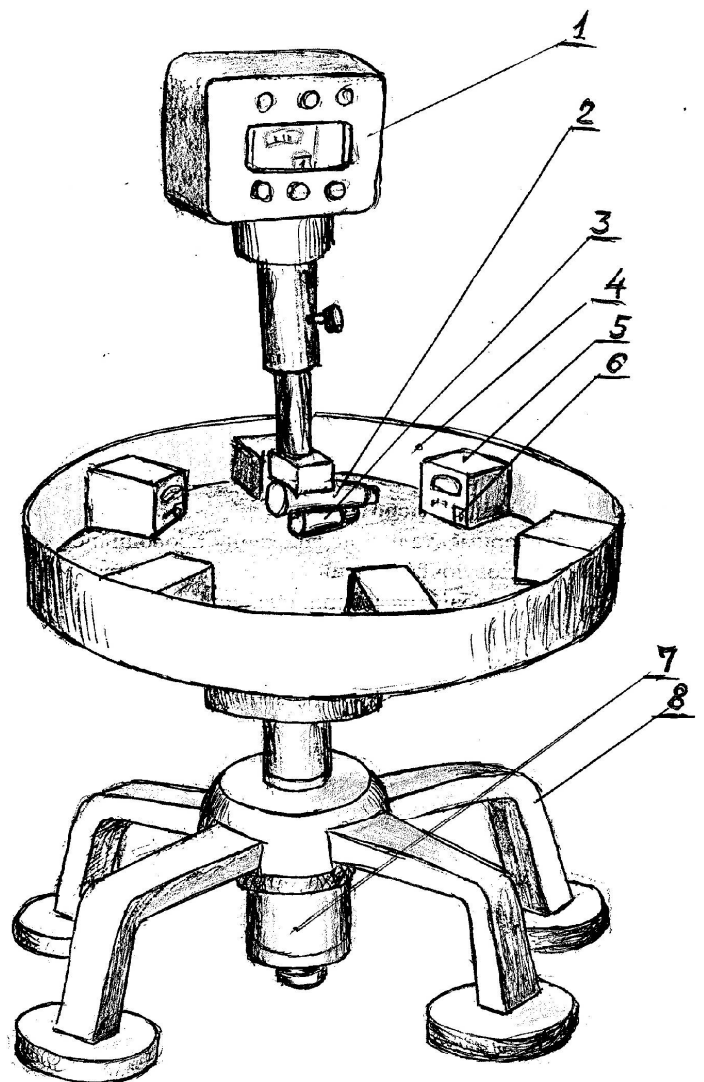


Рис.9.10. Схема перевірки роботи приладів на центрифугі

Прилади 5 встановлюють і закріплюють на столі центрифуги 4. На кожен прилад, який розвернений обличчям до центру, кріпиться своя бірка з порядковим номером 6. Центрифуга обертається, приведена в рух з необхідною швидкістю двигуном 7. Все встановлено на міцних опорах 8 типа «павук».

Щоб зняти покази приладу під час обертання використовується стробоскопічна установка з указателем 1, яка внизу має відеокамеру 2 і стробоскопічну лампу світла 3. Управляючи *частотою* спрацьовування цієї лампи, що дорівнює числу обертів центрифуги, можна зафіксувати покази кожного приладу у швидкісному режимі.

Такі випробування на стійкість можуть тривати до 1-2 годин зі зніманням поточних показів працюючих при цьому приладів.

4. Випробування на транспортування.

Прилади, які працюють на транспорті, або такі, які піддаються тривалим перевезенням, іноді випробовують на трясіння під час транспортування. Звичайно це роблять багатогодинним перевезенням приладів у кузові вантажного автомобіля бруківкою. Можлива імітація таких перевантажень у лабораторії за допомогою вібростендів, які відтворюють аналогічні навантаження системи. Потім прилади піддають контролю на точність показів.

9.2.3. Кліматичні випробування

Під кліматичними випробуваннями розуміють перевірку точності та надійності роботи приладів за зміни характеристик навколишнього середовища: температури, вологості, тиску, освітлення, електромагнітного шуму або магнітних полів, радіації, біологічного та грибкового засмічення, забруднення атмосфери та ін. Вибір того чи іншого виду таких випробувань визначається екстремальними умовами роботи приладу на об'єкті та специфічними особливостями середовища експлуатації. Так, морські прилади зазнають впливу вологи та активних солей, які містяться в морській воді, тоді як авіаційні прилади зазнають більшого впливу перепадів температур, тиску, радіації, електромагнітних полів тощо. Види випробувань для арктичних

приладів істотно відрізнятимуться від аналогічних випробувань приладів тропічного варіанта.

Часто кліматичні випробування виконують за методикою комплексних із навантаженням одночасно кількома факторами, що дає більшу об'єктивність оцінки якості роботи приладу за рахунок наближення умов випробувань до натурних. Тому авіаційні прилади іноді випробують у спеціальних барокамерах, де одночасно змінюються температура, вологість, тиск, і відтворюються різні радіоперешкоди. У цьому зв'язку багато кліматичних випробувань планують за програмою спеціальних. Розглянемо основні загальні кліматичні випробування.

1. Випробування за низьких температур. Такому виду випробувань піддаються всі прилади, що працюють у польових умовах, тобто на відкритому повітрі та транспорті. При цьому перевіряють такі важливі характеристики готових виробів: правильність вибору та виконання точних рухомих посадок за необхідними для цього зазорами на заклинювання, плавність роботи механізмів у кінематичних ланцюгах, стійкість деяких видів матеріалів до окрихчення, ступінь загустіння мастила, можливості щодо запотівання або випадіння інею, наочність індикації тощо. Випробування за низьких температур виконують у спеціальних холодильних камерах на морозостійкість. Під час випробування на морозостійкість прилади спочатку витримують 3...5 год. у холоді за даної низької температури, а потім через 2...3 год. обігрівання за нормальної температури перевіряються точність роботи порівнянням із показами зразкового приладу.

Під час випробування на морозосталість прилади встановлюють у холодильні камери, вмикають енергоживлення, але не пускають їх у роботу, а охолоджують до потрібної температури протягом 2 год. Потім прилади пускають в роботу і перевіряють надійність і точність показів по всьому діапазону роботи на протязі 1-2х годин з порівнянням із показами зразкового приладу.

Максимальні температури охолодження: для звичайних наземних приладів - 50°C ; для авіаційних -60°C ; приладів арктичного варіанту -80°C ; космічних – -150°C .

2. Випробування за високих температур. За підвищенням температур навколишнього середовища змінюються такі важливі показники системи приладу, як теплові деформації конструкції та вибір ряду важливих для правильної роботи

приладу зазорів; порушується точність роботи ряду електричних і електронних перетворювачів, потенціометрів, резисторів, варисторів, ємкостей конденсаторів тощо; змінюється в'язкість мастила та його витікання з рухомих з'єднань тощо. Усі ці фактори спричиняють відхилення від нормальної роботи приладу і можуть призвести до недопустимих похибок показів.

Випробування виконують у термостатах електронагріву, які регулюють температуру з точністю $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (наприклад, термостат КТ-300 та ін.). Перевірка на термостійкість характеризується тривалою (до кількох діб) витримкою в середовищі потрібних підвищених температур із подальшим контролем працездатності за нормальних умов. Більшість приладів піддають випробуванню на термосталість. При цьому прилад прогрівають до необхідного стану 4...10 год., а потім після його вмикання перевіряють точність роботи протягом 5...6 год. за всім діапазоном показів. Усі відхилення фіксують зразкові прилади; вони мають перебувати в допустимих межах за технічних умов.

Режими максимальних температур нагріву для деяких видів приладів: для звичайних наземних – до $+50^{\circ}\text{C}$; для авіаційних – до $+55^{\circ}\text{C}$; тропічного варіанта – до $+70^{\circ}\text{C}$; космічних – до $+120^{\circ}\text{C}$.

3. Випробовування за підвищеної вологості. Прилади, які працюють у відкритих умовах або на транспорті, піддають випробуванням на вологостійкість або вологосталість, контролюючи правильність їх роботи за підвищеної вологості навколишнього середовища, туману або зрошення водою. При цьому часто одночасно змінюють також температуру, наближаючи умови випробувань до натурних. Такі умови стають для конструкції приладів агресивним середовищем, оскільки при цьому змінюється діелектричні властивості діелектричних матеріалів, ізоляції провідників і повітря. Це може призвести до втрати струму або замикання, окислення та пригоряння контактів, корозії погано захищених ділянок металу, появи та активізації біологічного середовища в приладах у вигляді грибкових утворень. Найбільше зазнають такого впливу прилади, які працюють у тропіках або на морі.

Більшість програм випробовують на підвищену вологість передбачають перевірку працездатності систем за тривалих циклів (до місяця) навантажень. Це змушує з метою дотримання графіка здачі приладів і скорочення вироблення їх

ресурсів таким випробуванням піддавати вибіркові вироби за випробуванням на ресурс.

Перевірку виконують у спеціальних камерах або гідростатах, здатних тривалий час підтримувати потрібні вологість середовища, туман або пару. Під час випробувань на вологостійкість тривалість витримки дорівнює 20...30 діб, якщо вологість підтримується в межах $95\pm 5\%$. Цикл випробувань на вологосталість коротший і звичайно не перевищує п'ятидобової попередньої витримки приладів у вологому середовищі з подальшою робочою перевіркою показів протягом 4...6 год.

Для випробувань на підвищену вологість з одночасним підвищенням температури середовища або утворенням туману на виробництві застосовують гідростати типу ТБК-2; КТВ-0,4-1,55; КТВ-0.15-155 та ін., за допомогою яких виконують прискорені випробування за рахунок забезпечення жорстких режимів навантаження.

4. Випробування за зниженого тиску. Такому випробуванню піддають звичайно авіаційні прилади, щоб перевірити надійність роботи систем на великих висотах, герметичність ряду елементів. Перевірка виконується за нормальної або пониженої до необхідного рівня температури. На виробництві такі натурні умови перевірок імітуються за допомогою барокамер або термобарокамер типу КБ-0,6, МИС-1000У та ін., де за допомогою потужних відсмоктувальних компресорів і холодильних установок створюються потрібні режими навантажень.

Під час випробування за пониженого тиску прилад перевіряють найчастіше на сталість роботи згідно з певними методиками, які враховують умови експлуатації. Прилади вміщуються в камерах в увімкненому стані, і після герметизації в камері створюється протягом 1..2 год. потрібні умови. Потім прилади пускають в роботу і перевіряються їх покази за всім діапазоном протягом 2...5 год. із перевіркою правильності роботи за допомогою поряд працюючого зразкового приладу. Перед розгерметизацією тиск в камері плавно підвищують до нормального. Відхилення в показах приладів мають перебувати в межах, встановлених технічними умовами.

5. Комплексні кліматичні випробування. Оскільки вплив на системи приладу за ряду кліматичних роздільних випробувань не істотний, то для одержання вірогіднішої та об'єктивнішої оцінки працездатності приладів у реальних

експлуатаційних умовах їх піддають комплексним кліматичним випробуванням. При цьому вибирається кілька основних факторів впливу, створюється спеціальна перевірна камера імітації реальних зовнішніх умов і розроблюються спеціальні методики реального функціонування систем за екстремальних перевантажень. Найчастіше виконують випробування на термоперевантаження за багаторазового чергування підвищених і знижених температур в одній установці типу ТКСИ-0,2-80 з перевіркою на сталість роботи; вплив одночасно підвищених температури та вологості за підвищеного атмосферного тиску (їх виконують на універсальній установці УКИ-0,015); сталість роботи в разі впливу зниженого тиску та температури (виконують у термобарокамері МПС-1000У тощо).

9.3. Типи випробувань у приладобудуванні

Класифікація випробувань виробів у приладобудуванні враховує такі фактори: час проведення випробувань за всім конструкторсько-технологічним циклом виробництва приладів від початку їх проектування до випуску серії; місце проведення випробувань за всім технологічним циклом розробки та випуску серій приладів; виконавець різних видів випробувань; техніко організаційні завдання, які розв'язуються для кожного типу випробувань.

При цьому в кожному типі випробувань передбачається необхідний за технічними умовами на виріб перелік різних випробувань, який ураховує натурні умови експлуатації приладу на об'єкті, а також різні режими навантаження за допомогою яких за короткий термін оцінюють надійність роботи випробовуваних виробів (ТУ).

Усі типи випробувань можна віднести до двох етапів циклу розробки та виготовлення приладів — проектно-конструкторського та виробничо-виготовлювального.

9.3.1. Конструкторські випробування

Під час проектно-конструкторського етапу в процесі створення нових

приладів розробник виконує певні випробування.

1. Попередні конструкторські випробування макета. Виконуються безпосередньо самими розробниками в лабораторіях ОКБ або НДІ без певної програми на різних режимах після створення першого макета майбутнього приладу. Мета таких випробувань – перевірити придатність закладених у конструкцію-схему нових методів та ідей, дослідити можливості нової системи щодо надійності роботи, точності та стабільності показів відповідно до технічних завдань (ТЗ) на новий прилад. При цьому виконується доводка систем, уточнюються необхідні характеристики кіл і елементів, дороблюється технічна супроводжувальна документація.

2. Конструкторські випробування дослідного зразка. Виконуються розробниками в лабораторних умовах на першій партії дослідних зразків приладів. Основна мета таких випробувань – перевірити прилади на відповідність ТЗ на виріб, виявлення найслабших вузлів нової конструкції для подальшого доопрацювання та забезпечення певної гарантії працездатності, відпрацювання основної методики та програми майбутніх випробувань, які закладають у створювані технічні умови на виріб. Доопрацьована партія дослідних зразків може випробовуватися потім на працездатність у натурних умовах безпосередньо на об'єктах майбутньої експлуатації шляхом напрацювання статистики, можливих відмов і рекомендацій щодо використання. Такі випробування виконує спеціальна бригада досвідчених операторів, яка продовжує доводити прилад в умовах експлуатації. Більшість таких зразків випробовують до остаточного вироблення ресурсу із застосуванням іноді жорстких або екстремальних режимів навантаження систем.

3. Державні випробування дослідної партії. Для офіційної апробації нового приладу, отримання на нього сертифікату, його реєстрації в каталог переліку даного класу приладів і передачі конструкції у виробництво для широкого застосування слід мати висновок державної експертної комісії про придатність нового приладу до використання. Таку комісію періодично створюють із представників: керівництва даної галузі приладобудування, майбутніх замовників, державної служби стандартів і мір, заінтересованих виробництв.

Для таких випробувань випускають дослідним виробництвом невелику партію

зразків приладів, які вже мають розроблені для них технічні умови.

Мета державних випробувань – встановити відповідність усіх показників нового приладу ТЗ, придатність даного виробу для експлуатації на бажаних об'єктах за заданих умов, надійність і точність роботи та відповідність його характеристик прийнятим нормам і стандартам. Водночас оцінюють техніко-економічні показники виробу, технологічність його конструкцій. На підставі висновків комісії за результатами випробовувань у натурних умовах на об'єкті відбирають оптимальнішу конструкцію з кількох поданих до запуску у виробництво.

9.3.2. Виробничі випробовування

У процесі програмного випуску приладів на виробництві виконують такі випробування:

1. Попередні - перевірочні. Виконують після попереднього складання приладів або окремих їх функціональних вузлів у лабораторних умовах робітниками-складальниками за певною методикою, зумовленою в технічних умовах на кожний виріб. Спочатку їх виконують за м'яких режимів для попереднього технологічного перевірконого обкатування системи, перевірки правильності складання та з'єднань, виявлення можливих відхилень та відкритих дефектів. Після остаточного складання такі випробування окремих вузлів або приладів у цілому виконують уже за нормальних номінальних режимів звичайно за певною програмою контрольних, де встановлюють повну відповідальність вихідних параметрів готового виробу всім вимогам ТЗ і технічних умов. Такому попередньому контролю піддають усі без винятку вироби, які складають, і даний процес у вигляді додаткової операції спеціально занесеної у технологічний процес для гарантії якості продукції.

2. Повторні контрольно-приймальні. Виконуються після подання цехом-виготовлювачем готової продукції контрольними службами за повною програмою контрольних. Мета цих випробувань – атестація придатності продукції, яку випускають, надійності та точності роботи пристроїв відповідно до технічних умов і приймання придатних виробів службою ВТК від складальників.

Випробування виконують у спеціальних приміщеннях, оснащених

необхідними пристроями та стендами для імітації певних натуральних умов за всіма видами випробувань. Як правило, такі випробування виконуються за послідовною методикою й їм піддають звичайно всі без винятку прилади, які випускають. Якщо прилади повністю пройшли всі випробування без відхилень, то вони приймаються за актом приймання службою ВТК і надсилаються в експедицію до складу для пакування та відправлення споживачам.

3. Контрольно-задавальні. Якщо приладобудівне підприємство виконує довготривале замовлення певного відомства або держзамовлення на постачання продукції іншим державним організаціям уводять додатковий контроль придатності виробів службами держприймання або самого замовника у вигляді контрольно-здавальних випробувань. Останні виконуються в спеціальних приміщеннях контрольно-випробувальної станції (КВС) бригадою операторів у присутності представників ВТК за програмою контрольно-комплексних для прискорення перевірки.

Мета таких випробувань – остаточна атестація придатності виробів із підвищенням гарантії якості особливо важливих приладів незалежною від підприємства службою. Такий контроль виконується часто вибірково, але іноді повністю для всіх без винятку виробів, які випускають. При цьому, якщо хоча б один прилад із усієї партії виробів, яку здає служба ВТК, зійде з випробувань, тобто матиме неприпустимі відхилення в роботі, то вся подана продукція повертається назад для доробки. Якщо ж прилади партії пройдуть такі випробування то оформлюють акт остаточного приймання виробів від підприємства, заповнюють паспортні дані для кожного приладу згідно з одержаними результатами перевірки продукцію відправляють в експедицію для пакування.

4. Типові. Це контрольно-перевірні випробування разового характеру, що виконуються один-три рази на рік вибірково державними службами приймання, службою держстандартів і мір або службами замовника. Мета таких випробувань – встановити відповідність виробів, які випускаються, вимогам ТЗ і технічних умов на прилади, дотримання виробництвом встановлених нормалей і стандартів, перевірка атестації придатності застосованої контрольно-вимірювальної апаратури та зразкових приладів за всім технологічним циклом виготовлення виробів. Додатково

перевіряються вся технологічна та конструкторська документація та придатність застосованих матеріалів для виготовлення приладів, організація процесу перевірок та випробувань на виробництві.

Для проведення основних типів випробувань вибирають кілька приладів із поточної партії, які мають найгірші показники з попередніх перевірок та випробувань. На КВС ці прилади піддають контрольним випробуванням за повною програмою і звичайно до остаточного вироблення ресурсу за використання жорстких режимів навантажень, що дає змогу оцінити надійність виробів.

Усі знайдені на виробництві відхилення, порушення технологічної дисципліни та збоїв роботи приладів, які перевіряють, актують і передають підприємству для термінового усунення та вживання відповідних заходів для того, щоб не допускати їх в подальшому. За рахунок порушень у виробництві та поганої якості виробів уся продукція піддається арешту, а виробництво зупиняється до проведення відповідних заходів щодо наведення порядку.

5. Випробування на довговічність. Виконуються періодично згідно з технічними умовами на даний вибір служби ВТК або замовника. Мета цих випробувань – перевірити працездатність виробу на повний заданий ресурс і виявити найслабші ланки в системі приладу. Для цього вибирають один-два прилади з тих, які прийнято до відправлення, показники яких за перевірками, проведеними раніше, найнижчі. І прилади піддають прискореним видам випробувань за програмою контрольних і з застосуванням іноді жорстких режимів, до останнього вироблення встановленого ресурсу в годинах або повної відмови. При цьому реєструється точність та тривалість роботи. Після проведення випробувань прилади відправляють на розбирання для виявлення причини відмови та ступеня спрацювання механізмів. За результатами проведених досліджень складають протокол за якістю продукції і розробляють заходи щодо усунення слабких місць у виробі. На базі таких випробувань відпрацьовують новий гарантійний термін служби доопрацьованих виробів, змінюють конструкцію та переоцінюють собівартість виробництва даних приладів.

Результати всіх типів випробувань мають бути обов'язково записані в журнал випробувань. Записи мають повністю відображати всі види випробувань і режими

навантаження, тривалість роботи та точні дані за результатами показників приладів на всіх стадіях випробування, причини відмов. Наявність таких записів дає змогу нагромадити статистичні дані, на підставі яких можна розрахувати надійність систем та накреслювати шляхи поліпшення якості виробів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Асс Б.А., Уразаев З.Ф., Мясников Б.Я., Сборка, регулировка и испытание приборов. – М. : Машиностроение, 1969 – 314с.
2. Ачкасов Н.Д., Терган В.С., Технология точного приборостроения. – М. : Высш. шк., 1973. – 366с.
3. Белевцев А.Т., Монтаж и регулировка радиоаппаратуры. – М. : Высш. шк. 1971. – 304с.
4. Баришніков В.Н., Шоботенко Н.С., Монтаж радіоелектронної апаратури. – К. :Техніка, 1986. – 269с.
5. Буловський П.И., Основы сборки приборов. – М. : Машиностроение, 1970. – 200с.
6. Буловский П.И., Миронов В.М., Технология радиоэлектронного аппаратостроения. – М. : Энергия. 1971. – 344с.
7. Гаврилов А.Н. Технология авиационного приборостроения. – М. : ОборонГИЗ, 1962. – 472с.
8. Гаврилов А.Н., Лебедев Н.А., Технология систем управления летательных аппаратов. – М. : Машиностроение, 1971. – 476с.
9. Гусев В.П., Технология радиоаппаратостроения. – М. : Высш. шк., 1972. – 496с.
10. Долгушев Ю.М., Технология приборостроения. – М. : Машиностроение, 1978. – 168с.
11. Ельников Н.Т., Дитев А.Ф., Юрусов Н.К., Сборка и юстировка оптико-механических приборов. – М. : Машиностроение, 1974. –348с.
12. Ефремов А.А., Законников В.П., Подобрянский А.В., Сборка оптических приборов.- М: – Высш. шк., 1978. – 294с.
13. Идлин М.М.. Сафонов Н.Д., Основы сборки, регулирования и контроля авиационных электрогироскопических приборов. – М. : Машиностроение, 1968. – 360с.
14. Ковалев М.П., Моржаков С.П., Терехова К.С., Динамическое и статическое уравнивание гироскопических устройств. – М. : Машиностроение,

1965. – 304с.

15. Лебедевский М.С., Вейц В.Л., Федотов А.И., Научные основы автоматической сборки. – М. : Машиностроение, 1985. – 316с.

16. Новиков М.Л., Основы технологии сборки машин и механизмов. – М. : Машиностроение, 1980. – 592с.

17. Остафьев В.А., Румбешта В.А. и др., Основы технологической подготовки производства приборов. – К. : Высш. шк., 1983. – 413с.

18. Остафьев В.А., Держук В.А., Румбешта В.А., и др, Технологические процессы изготовления деталей приборов. – К. : Высш. шк., 1983. – 208с.

19. Ушаков Н.Н., Технология элементов вычислительных машин. – М. : Машиностроение, 1977. – 192с.

20. Фролов С.П., Юдкевич Б.А., Испытание авиационного электрооборудования. – М. : Машиностроение, 1968. –240с.

21. В.О.Румбешта. Основи технології складання приладів. – К.: ІСДО Укр., 1993. – 303с.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
<u>Розділ I. Основи технологічної підготовки складання приладів.....</u>	<u>5</u>
Глава 1. Організація складання приладів.....	5
1.1. Складальний процес у приладобудуванні.....	4
1.2. Основні елементи складання.....	10
1.3. Основні етапи підготовки виробництва.....	13
1.4. Організаційні форми складання приладів.....	25
1.5. Проектування технологічних процесів складання.....	33
1.6. Вибір найефективнішого варіанта процесу складання.....	43
Глава 2. Забезпечення якості складованих виробів у приладобудуванні.....	46
2.1. Надійність у приладобудуванні та її забезпечення на виробництві.....	46
2.1.1. Основні уявлення про надійність.....	46
2.1.2. Оцінка надійності виробів.....	49
2.1.3. Надійність технологічного процесу.....	52
2.2. Забезпечення точності складання.....	59
2.2.1. Основні уявлення про точність.....	59
2.2.2. Аналіз точності процесу складання.....	63
2.2.3. Забезпечення розмірної взаємозамінності.....	66
2.2.3.1. Метод повної взаємозамінності.....	68
2.2.3.2. Метод неповної взаємозамінності.....	75
2.2.3.3. Метод забезпечення точності складання доборою.....	80
2.2.3.4. Метод забезпечення точності складання регулюванням.....	85
2.2.3.5. Метод забезпечення точності складання доробкою.....	89
2.2.4. Забезпечення параметричної взаємозамінності.....	91
2.2.4.1. Загальні уявлення про параметричну точність.....	91
2.2.4.2. Точність функціональних елементів.....	95
2.2.4.3. Точність функціональних перетворюючих пристроїв.....	104
Глава 3. Трудомісткість складання приладів.....	113
3.1. Технологічність складання приладів.....	113
3.2. Продуктивність і трудомісткість складальних приладів.....	116

3.3. Підвищення продуктивності складання.....	119
Глава 4. Автоматизація складання.....	122
4.1 Завдання автоматизації складання.....	122
4.2. Автоматичні складальні системи.....	126
4.3. Автоматизація проектування технологічних процесів.....	133
<u>Розділ II. Основні технологічні процеси складання приладі.....</u>	<u>142</u>
Глава 5. Технологія одержання різних з'єднань.....	142
5.1. Технологія складання та регулювання рухомих з'єднань.....	142
5.2. Технологія одержання нерухомих рознімних з'єднань.....	144
5.3. Технологія одержання нероз'ємних з'єднань.....	149
5.4. Забезпечення герметичності з'єднань.....	166
Глава 6. Технологія складання механічних елементів приладів.....	174
6.1. Технологія складання опор кінематичних ланцюгів приладів.....	174
6.2. Технологія складання зубчастих передач.....	189
6.3. Технологія балансувальних робіт у приладобудуванні.....	201
Глава 7. Технологія складання електричних елементів приладів.....	215
7.1. Технологія намотувальних робіт.....	215
7.2. Технологія виготовлення потенціометрів.....	226
7.3. Технологія електромонтажу в приладобудуванні.....	236
7.4 Технологія напівпровідникових електронних мікросхем.....	256
Глава 8. Технологія складання оптичних елементів приладів.....	275
8.1. Особливості складання оптичних приладів.....	276
8.2. Складання та кріплення оптичних елементів.....	278
8.3. Центрування лінз.....	291
8.4. Складання об'єктивів та окулярів.....	301
8.5. Технологія юстирувальних робіт.....	313
Глава 9. Випробування приладів.....	321
9.1. Загальні поняття про випробування.....	321
9.2. Види випробувань.....	331
9.3. Типи випробувань.....	349
Список літератури.....	355

Навчальне видання

Румбешта Валентин Олександрович

Технологія складання , регулювання та випробування приладів

Підручник