

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи

Київ 2011

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи

для студентів напрямку підготовки
6.051003 «Прилади»
7.05100305 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи»

Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ»

Київ 2011

Технологія приладобудування: вказівки по виконання розрахунково - графічної роботи для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту / Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 80 с.

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(Протокол № __ від _____ 2011)*

Навчальне видання

ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки

по виконанню розрахунково-графічної роботи

для студентів напряму підготовки
6.051003 «Приладобудування»,
7.05100305 «Наукові аналітичні та екологічні прилади та системи»

Укладачі:

*Шевченко В.В., к.т.н., доцент
Осадчий О.В., асистент
Симута М.О., асистент*

Відповідальний редактор:

Румбешта В.О., д.т.н. професор

Рецензенти:

Гераїмчук М.Д., д.т.н., професор

За редакцією укладачів

Надруковано з оригінал-макета замовника

ЗМІСТ	стр.
ВСТУП	4
1. ЗАДАЧІ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	6
2. ВИМОГИ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	7
2.1. Тематика розрахунково-графічної роботи	7
2.2. Зміст на об'єм розрахунково-графічної роботи	8
3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ОСНОВНИХ РОЗДІЛІВ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	13
3.1. Вступ	13
3.2. Технологічна підготовка виробництва деталей	14
3.2.1. Опис деталі	14
3.2.2. Відпрацювання деталі на технологічність	14
3.2.3. Вибір типу виробництва	16
3.2.4. Величина партії деталей	17
3.2.5. Вибір виду заготовки та способу її отримання	19
3.2.6. Технологічна документація, порядок її заповнення	21
3.2.7. Проектування маршрутної технології	24
3.2.8. Проектування операційного технологічного процесу	26
3.2.9. Розрахунок припусків та проміжних розмірів	27
3.2.10. Розрахунок режимів обробки	29
3.2.11. Технічне нормування	35
3.2.12. Вибір та розрахунок різального інструменту	37
3.2.13. Вибір, опис конструкції та розрахунок вимірювального інструменту та пристосування	39
3.2.14. Проектування технологічної оснастки	41
3.3. Технологічна підготовка виконання складальних робіт	43
3.3.1. Опис конструкції приладу або складальної одиниці	44
3.3.2. Відпрацювання приладу або складальної одиниці на	

технологічність	44
3.3.3. Схема складального складу	48
3.3.4. Технологічна схема складання	49
3.3.5. Проектування технологічного процесу складання	50
3.3.6. Маршрутний технологічний процес складання	52
3.3.7. Операційний технологічний процес складання	53
3.3.8. Розрахунок точності складальних робіт	53
3.3.9. Забезпечення параметричної точності елементів приладів	63
Література	68
Додатки	69

ВСТУП

Розрахунково-графічна робота є першою самостійною роботою майбутнього інженера, яка направлена на вирішення конкретних задач у сфері технічної підготовки виробництва приладів. Виконання курсового проекту є не тільки комплексною перевіркою знань студента з технології приладобудування, але і важливою формою та методом надбання навичок самостійної роботи. Автор розрахунково-графічної роботи, майбутній інженер-приладобудівник, повинен показати вміння аналізувати існуючі технологічні процеси, проектувати нові технологічні процеси та оснащення.

Основною метою методичних вказівок по розрахунково-графічній роботі є: своєчасне ознайомлення студентів з тематикою розрахунково-графічної роботи; характером вимог, які пред'являються до роботи; порядком роботи; змістом та об'ємом кожного розділу, методиками їх виконання; оформленню пояснювальної записки та графічної частини.

1. ЗАДАЧІ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота є комплексною самостійною роботою студента, яка підсумовує вивчення ними дисципліни технологія приладобудування.

Головною задачею студентів-приладобудівників є розв'язання питань проектування прогресивних технологічних процесів отримання заготовок, обробки деталей, складання та випробування приладів, оснащення цих процесів високопродуктивними пристроями, ріжучім та вимірювальним інструментами. Розв'язок вищевказаних питань на високому технічному рівні вимагає глибокого вивчення основ технологічної підготовки виробництва, економіки приладобудування та організації виробництва.

В процесі роботи над розрахунково-графічною роботою студент повинен проявити знання з:

1. Методики аналізу стану технології виробництва на ділянці, в цеху, на заводі;
2. Методики та техніки проектних розрахунків на основі технічно обґрунтованих нормативів (розрахунок режимів обробки, технічне нормування, розрахунок пристосувань тощо).
3. Методики організації технологічної підготовки виробництва (починаючи з розробки маршрутної технології та закінчуючи перспективною технологією).

Проектант за допомогою вказівок керівника повинен організувати роботу так, щоб з мінімальною витратою часу та мінімальною трудоемністю знаходити оптимальне самостійне рішення.

Розрахунково-графічна робота повинна базуватися перед усім на максимальному використанні вже існуючих, перевірених практикою технологічних рішень, їх аналізу, оцінці умов їх використання та

можливості їх удосконалення та модернізації.

Проектант повинен вивчити все нове, що з'явилося за останній час в теорії та практиці технологічної підготовки виробництва, та по мірі можливості, використовувати ці досягнення у своїй розрахунково-графічній роботі з урахуванням конкретних особливостей виробництва.

Друга обов'язкова вимога стосується вибору теми та об'єкту дослідження. Тема розрахунково-графічної роботи повинна відповідати профілю спеціальності інженера-приладобудівника. Проектант може розроблювати будь-яку тему, що відповідає учбовій програмі курсу «Технологія приладобудування». Тема розрахунково-графічної роботи повинна носити комплексний характер та передбачати одночасне розв'язання декількох питань підготовки виробництва.

2. ВИМОГИ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

2.1. Тематика розрахунково-графічної роботи

Тематика розрахунково-графічної роботи повинна відповідати основним положенням курсу «Технологія приладобудування» та відображати задачі, що стоять перед технологічною підготовкою виробництва. Вона повинна передбачати проектування технологічних процесів та оснащення на нові вироби, раціоналізацію діючих на підприємстві технологічних процесів, впровадження високопродуктивного обладнання, оснащення, модернізацію існуючого обладнання та оснащення діючих технологічних процесів різноманітними пристосуваннями та пристроями, які дозволяють проводити механізацію та автоматизацію виробничих процесів, відпрацювання деталей та приладів в цілому на технологічність, перевірку діючих та проектуємих технологічних процесів на надійність,

точність.

Тематика розрахунково-графічної роботи може передбачати розробку перспективних технологічних процесів, що сприяють удосконаленню конструкції виготовляємих виробів, з метою підвищення їх якості.

Може бути рекомендована наступна (як приклад) тематика розрахунково-графічної роботи:

1. Технологічна підготовка виробництва складальної одиниці.
2. Технологічна підготовка виробництва приладу.
3. Проектування технологічного процесу виготовлення деталі.
4. Проектування технологічного процесу виготовлення складальної одиниці.

У завданні на розрахунково-графічну роботу чітко формулюється назва теми, вказані необхідні вихідні дані, структура та зміст розрахунково-пояснювальної записки та графічних робіт. Завдання на розрахунково-графічну роботу видається на спеціальному бланку.

2.2. Зміст на об'єм розрахунково-графічної роботи

Розрахунково-графічна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини, які взаємно доповнюють одна одну.

Пояснювальна записка повинна містити наступні розділи: вступ, технологічну підготовку виробництва деталей, технологічну підготовку складальних робіт, висновки по проекту та список використаної літератури.

У вступі пояснювальної записки необхідно вказати мету розрахунково-графічної роботи, її взаємозв'язок з задачами приладобудування, обґрунтувати актуальність обраної теми, розкрити

економічні аспекти питань, що розглядаються в розрахунково-графічній роботі, а також особливості постановки та розв'язку цих питань, в залежності від конкретних виробничих умов.

Технологічна підготовка виробництва деталей приладів повинна містити:

- опис деталей, де приводяться основні відомості про них, призначення, технічні вимоги;
- відпрацювання деталей на технологічність, з описом якісних та розрахунком кількісних показників технологічності;
- вибір типу виробництва, обґрунтування цього вибору;
- розрахунок величини партії деталей;
- маршрутний та операційний технологічні процеси, виконані на відповідних бланках з розрахунком припусків, проміжних розмірів, режимів обробки, технічних норм часу;
- вибір обладнання з вказанням моделі, технічних характеристик;
- опис спроектованої оснастки з розрахунком міцності, необхідних зусиль закріплених деталей, точності роботи;
- розрахунки на точність та надійність спроектованих технологічних процесів.

Технологічна підготовка виробництва складальних робіт містить:

- опис складальних одиниць або приладу в цілому;
- відпрацювання складальної одиниці або приладу на технологічність з розрахунком показників технологічності;
- проектування схеми складального складу;
- розробку технологічної схеми складання;
- маршрутний та операційний технологічні процеси складання, виконані на спеціальних бланках з описом обладнання, оснащення та допоміжних матеріалів;
- розрахунки на точність складальних робіт.

Завершується пояснювальна записка короткими висновками.

Вони повинні містити дані про сумарну економічну ефективність заходів, які рекомендуються, характеризувати інші їх переваги (полегшення умов праці, підвищення культури виробництва тощо). Закінчуються висновки за наступною схемою: а) задачі розрахунково-графічної роботи; б) якими методами та засобами вирішувалися ці задачі; в) що отримано в результаті.

Список використаної літератури показує вміння користуватися технічною літературою при проведенні розрахунку припусків, проміжних розмірів, режимів обробки, точності тощо.

Пояснювальна записка об'ємом 20-30 аркушів виконується на листах форматом А4, на одній стороні аркушу та повинна задовольняти вимоги ЄСТД.

Всі ілюстрації, які розміщені в записці, нумеруються арабськими цифрами, наприклад: рис. 1, рис. 2, рис. 5 і тощо. В тексті записки даються посилання на ілюстрації по типу «рис. 2», при повторному згадуванні ілюстрації посилання дається зі скороченим словом «дивись», наприклад: «див. рис. 7».

Аркуші пояснювальної записки нумеруються в наступному порядку: 1 – титульний лист, 2 – завдання на розрахунково-графічну роботу, 3 та далі аркуші пояснювальної записки в порядку, який вказаний в змісті.

Зміст записки поділяється на розділи, підрозділи, пункти та підпункти. Розділи повинні мати порядкові номери, що позначаються арабськими цифрами з крапкою. Підрозділи повинні мати порядкові номери в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номеру розділу та підрозділу, розділених крапкою. В кінці номеру підрозділу також повинна ставитися крапка. Номер пункту повинен складатися з номеру розділу, підрозділу, та пункту, розділених

крапками.

Найменування розділів та підрозділів повинні бути короткими, відповідати змісту та записуватися у вигляді заголовків прописними літерами. Переноси слів у заголовках не допускаються. Крапки в кінці заголовку не ставляться.

Приклад побудови та нумерації окремих частин пояснювальної записки:

2. Технологічна підготовка виробництва деталей

2.1. Опис деталі

2.2. Відпрацювання деталі на технологічність

2.3. Вибір типу виробництва

2.4. Розрахунок партії деталей

Цифровий матеріал необхідно оформлювати у вигляді таблиць. Кожна таблиця повинна мати заголовок. Крім того, всі таблиці повинні бути пронумеровані арабськими цифрами в межах усієї пояснювальної записки. Над правим верхнім кутом таблиці розміщується напис «Таблиця» з вказівкою порядкового номеру таблиці. На всі таблиці повинні бути посилання в тексті пояснювальної записки. Якщо цифрові дані в графах таблиці мають різну розмірність, її вказують в заголовку кожної графи. Якщо параметри таблиці мають тільки одну розмірність (наприклад: міліметри), скорочене позначення одинці виміру (мм) розміщується над таблицею.

На обкладинці пояснювальної таблиці повинні бути вказані: інститут, кафедра, тема розрахунково-графічної роботи, прізвище та ініціали студента, курс, група, прізвище та ініціали керівника розрахунково-графічної роботи та навчальний рік.

Графічна частина проекту виконується на 2-3 аркушах формату А1, у повній відповідності з діючими стандартами ЄСКД. Ця частина розрахунково-графічної роботи повинна в наочній формі

характеризувати основні розробки та пропозиції проектанта. Типовими графічними матеріалами є:

1. Креслення заготовок деталей, складальної одиниці або приладу в цілому. Креслення заготовок деталей повинні містити технічні вимоги (матеріал, допуски, твердість, шорсткість поверхні тощо). Допускається поєднувати (накладення) креслення деталі з кресленням заготовки.

2. Креслення технологічного оснащення (2 аркуші) з основними розмірами, зі специфікацією на основні деталі та складальні одиниці.

3. Креслення операційних технологічних ескізів, які дають наочне уявлення про взаємне розташування деталі що оброблюється, закріплених в пристосуванні, та різального інструменту.

Кожне креслення графічної частини повинно мати кутовий штамп з указанням номеру аркуша та загальної кількості аркушів, які входять в розрахунково-графічну роботу та, при необхідності, специфікацію.

Текстову частину, надписи та таблиці включають в креслення у тих випадках, коли дані, які в них містяться, вказівки та роз'яснення неможливо або недоцільно відобразити графічно або умовними позначеннями. Текстова частина розташовується над основним надписом креслення.

Технічні вимоги на кресленні викладаються в наступній послідовності: вимоги, які пред'являються до матеріалу, заготовки, термічної обробки; вимоги до якості поверхонь, зазначення про їх обробку, покриття; розміри, граничні відхилення розмірів, форми взаємного розташування поверхонь тощо; інші вимоги до якості; умови та методи випробувань; вказівки про маркування та таврування, правила пакування, транспортування та зберігання. Пункти технічних вимог повинні мати наскрізну нумерацію.

3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ОСНОВНИХ РОЗДІЛІВ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

3.1. Вступ

Вступ обов'язково повинен бути пов'язаний з темою розрахунково-графічної роботи, коротко викладати завдання, обґрунтовувати важливість та актуальність обраної теми. У вступі відмічаються основні цілі та заходи, пов'язані з подальшим підвищенням технічного рівня виробництва, економією використання основних матеріалів, механізацією та автоматизацією виробництва, розробкою прогресивних технологічних процесів, поліпшенням якості продукції та впливом цих факторів на технічний прогрес у приладобудуванні.

Так, наприклад, при проектуванні технологічних процесів обробки деталей бажано відобразити питання групової обробки деталей, використання універсально-складальних пристосувань, типізації технологічних процесів, розробки перспективних технологічних процесів, економічного обґрунтування вибору заготовки, варіанту технологічного процесу, конструкції пристосування тощо. Необхідно, по можливості, при технологічній підготовці виробництва деталей та складальних одиниць використовувати ЕОМ, особливо при проектуванні маршрутних та операційних технологічних процесів, розрахунку припусків та проміжних розмірів, технічному нормуванні, розрахунках на точність, надійність спроектованого технологічного процесу.

3.2. Технологічна підготовка виробництва деталей

3.2.1. Опис деталі

Цей розділ повинен містити опис заданої деталі, її експлуатаційне призначення, обґрунтування вибору матеріалу, механічних властивостей, розрахунок розмірів. Проектант повинен перевірити наявність всіх необхідних для виготовлення деталі розмірів, проекцій деталі, позначення допусків, шорсткості тощо, у повній відповідності до вимог ГОСТ, ДСТУ та ЄСКД. Приведені в цьому розділі характеристики деталей повинні бути вихідним матеріалом для вибору методу отримання заготовки та розробки технологічного процесу.

3.2.2. Відпрацювання деталі на технологічність

Розробка технологічних процесів проводиться тільки для тих деталей, конструкції яких відпрацьовані на технологічність. Технологічною слід вважати таку деталь, яка повністю відповідає пред'явленим до неї експлуатаційним вимогам, та може бути виготовлена з використанням найбільш економічних технологічних процесів. Підвищення технологічності має мету зниження трудомісткості та собівартості виготовлення деталі.

Кількісна оцінка технологічності деталі визначається цілим рядом показників. До основних показників відносяться:

1. Абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення деталі, який виражається сумою нормо-годин, які витрачені на виготовлення

$$T_u = \sum T_i, \quad (3.1)$$

де T_i – трудомісткість виготовлення деталі на окремих операціях.

2. Рівень технологічності по трудомісткості виготовлення

$$K_{y.T.} = T_u / T_{б.и.}, \quad (3.2)$$

де $T_{б.и.}$ – базовий показник трудомісткості.

3. Технологічна собівартість деталі

$$C_T = C_M + C_3 + C_{ц.р.}, \quad (3.3)$$

де C_M – вартість матеріалу деталі; C_3 – заробітна плата основного персоналу; $C_{ц.р.}$ – загально цехові витрати на виробництво.

4. Рівень технологічності за технологічною собівартістю

$$K_{y.C.} = C_T / C_{б.т.}, \quad (3.4)$$

де $C_{б.т.}$ – базовий показник собівартості.

5. Відносна трудомісткість заготівельних робіт

$$K_{o.з.р.} = T_{з.р.} / T_{и.}, \quad (3.5)$$

Де $T_{з.р.}$ – трудомісткість заготівельних робіт.

6. Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{в.м.} = M_{г.} / M_{з.}, \quad (3.6)$$

де $M_{г.}$ – маса готової деталі; $M_{з.}$ – маса заготовки;

7. Коефіцієнт точності обробки

$$K_{т.ч} = 1 - \frac{1}{A_{cp}}, \quad (3.7)$$

де $A_{cp} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + Mn_i}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i}$ – середній клас точності;

n_i – число розмірів відповідного класу точності.

8. Коефіцієнт шорсткості поверхні

$$K_{ш} = 1 / B_{cp}, \quad (3.8)$$

де $B_{cp} = \frac{n_1 + 2n_2 + \dots + 14n_{14}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{14}}$ – середній клас шорсткості деталі;

n_i – число поверхонь відповідного класу шорсткості.

Чисельні значення відносних часткових показників технологічності приймають у межах

$$0 < K \leq 1.$$

Чим ближче до 1, тим більша технологічність деталі. Якщо коефіцієнти технологічності вийшли невеликими, то слід передбачити заходи по їх підвищенню:

- скорочення витрат на основний матеріал;
- раціональне використання відходів;
- зниження витрат часу на виготовлення;
- спрощення операцій технологічного процесу;
- скорочення видатків на оснащення тощо.

В залежності від ступеню правильності рішень, які знайдені по кожному з цих шляхів окремо та в цілому для даної конструкції деталі буде визначатися ступінь технологічності конструкції.

3.2.3. Вибір типу виробництва

В залежності від габаритів, маси та розміру річної програми випуску виробів, який передбачено завданням, проектант повинен визначити тип виробництва на ділянці, від правильного вибору якого залежить якість розробки всієї розрахунково-графічної роботи.

Тип виробництва визначає характер технологічного процесу та його структуру. Тому перш ніж приступити до проектування технологічного процесу механічної обробки деталі, необхідно, виходячи з даної програми випуску та характеру деталей, які підлягають обробці, встановити тип виробництва – одиничне, серійне або масове.

Виробництво можна віднести до того або іншого типу умовно по кількості деталей або виробів одного найменування та типорозміру, що оброблюються за рік, користуючись наступною таблицею:

Таблиця 3.1. Вибір типу виробництва за програмою випуску

Тип виробництва	Кількість деталей одного найменування та типорозміру, які виготовляються за рік		
	крупні	середні	мелкі
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Серійне	понад 5 до 1000	понад 10 до 5000	понад 100 до 5000
Масове	понад 1000	понад 5000	понад 50000

Кожний з цих типів виробництва має свої характерні особливості та кожному з них властива відповідна форма організації роботи.

Одиничне виробництво є універсальним та охоплює різнохарактерні типи виробів, внаслідок чого воно повинно бути дуже гнучким та може бути пристосоване до виконання різноманітних завдань по виготовленню виробів широкої номенклатури. Для цього цех або ділянка, що проектується повинні мати комплект універсального обладнання.

При серійному виробництві процес виготовлення виробів ведеться партіями або серіями, які регулярно повторюються через певні проміжки часу. Обладнання тут дуже різноманітне: універсальне та спеціалізоване.

Масове виробництво є подальшим розвитком серійного.

В залежності від кількості виробів у партії або серії та значення коефіцієнту закріплення операцій розрізняють малосерійне, середньо серійне та великосерійне виробництво. Коефіцієнт закріплення операцій дорівнює: для малосерійного – від 20 до 40; для серійного – від 10 до 20; для великосерійного – від 1 до 10. При масовому виробництві коефіцієнт закріплення дорівнює 1.

3.2.4. Величина партії деталей

Характерною особливістю серійного виробництва є виготовлення виробів серіями або партіями, які запускаються у виробництво одночасно.

Поняття «партія» відноситься до кількості однойменних деталей, які одночасно оброблюються з одного налагодження обладнання, а поняття «серія» – до кількості приладів, складальних одиниць, які запускаються у виробництво одночасно.

Кількість деталей у партії та кількість приладів в серії може бути різне. Для визначення оптимальної величини партії існує спрощена формула

$$П = Nt/\Phi_y \quad (3.9)$$

де $П$ – кількість деталей у партії;

N – Кількість деталей одного найменування та розміру за річною програмою випуску виробів;

t – необхідний запас часу, в днях;

Φ_y – число робочих днів в році, яке дорівнює 253 дням при двох вихідних днях та тривалості робочого дня 8 годин.

На останньому етапі проектування, після виконання технічного нормування операцій технологічного процесу, можна скористатися і іншими формулами для визначення кількості деталей в партії. Наприклад, по співвідношенню між величиною підготовчо-заключного часу та тривалістю усієї обробки деталі

$$П = (\sum T_{п.з} / \sum T_{ш}), [\text{штук}] \quad (3.10)$$

де $\sum T_{п.з}$ – сума підготовчо-заключного часу на партію за усіма операціями технологічного процесу;

$\sum T_{ш}$ – сума штучного часу на одинцю виробу за усіма операціями технологічного процесу;

K – коефіцієнт, який показує відношення підготовчо-заключного часу до часу роботи обладнання, середнє значення якого приймають для мало-серійного виробництва – 10, середньосерійного (серійного) – 20 та великосерійного – 30.

Отриманий розмір партії деталей слід піддати коригуванню в залежності від конкретних виробничих умов.

Характерною особливістю масового виробництва є виробництво безперервним потоком. Час виконання кожної операції по усьому потоку повинен бути рівним або кратним, що дозволяє робити обробку без запасу деталей у суворо визначений відрізок часу – такт. Величина такту випуску у хв. визначається

$$\tau = \frac{60F_q}{N} \quad (3.11)$$

де F_q – ефективний річний фонд виробничого часу обладнання при заданій кількості робочих змін;

N – річна програма випуску виробів, шт.

3.2.5. Вибір виду заготовки та способу її отримання

Вибір виду заготовки або встановлення способу її отримання є відповідальним етапом у розрахунково-графічній роботі, тому що безпосередньо впливає на технологію механічної обробки деталі. Від ступеню досконалості та способу отримання заготовки в значній мірі залежать витрати металу, кількість операцій та їх трудомісткість, собівартість процесу виготовлення деталі.

На вибір способу отримання заготовки впливають наступні фактори: вид матеріалу деталі, його марка та фізико-механічні властивості; програма випуску деталей, тип виробництва; розміри та конструктивні форми деталі; обладнання яке є на виробництві; виробничі можливості заготівельних цехів.

В приладобудуванні використовують заготовки наступних видів: прокат у вигляді прутків круглого, прямокутного, квадратного перетину, профільний прокат, товстостінні безшовні труби; листи гарячекатані,

холоднокатані; поковки, які отримані методом вільного кування, кування у штампах, чеканки, ротаційного обжиму; відливки зі сталі та кольорових металів.

Ефективність обраного виду заготовки можна визначити одним зі спрощених способів, порівнюючи собівартості двох видів заготовок, наприклад, прокату (C'_3) та лиття (C''_3). Якщо собівартість заготовки (C''_3) буде менша собівартості першого варіанту заготовки (C'_3) за рахунок зменшення припуску на обробку та, як наслідок, зменшення маси заготовки, скорочення часу на чорнову обробку до отримання східних конфігурацій між заготовками, які порівнюються, то подальшого порівнювання проводити немає необхідності.

Орієнтовно визначення доцільності вибору того або іншого виду заготовки можна зробити шляхом порівняння собівартості заготовок та розміру заробітної плати робочих при чорновій механічній обробці заготовок до отримання східних конфігурацій

$$C'_3 - C''_3 < P''_{\text{чорн}} - P'_{\text{чорн}}, \quad (3.12)$$

де C'_3 та C''_3 – відповідно собівартість першого та другого варіантів;

$$C_3 = \alpha * M_3 * K_{\Pi}, \quad (3.13)$$

де α – вартість 1кг матеріалу заготовки; M_3 – маса заготовки; K_{Π} – коефіцієнт, який враховує тип виробництва та спосіб отримання заготовок (див. табл. 3.2); $P''_{\text{чорн}}$ та $P'_{\text{чорн}}$ – розцінки на виконання чорнової механічної обробки заготовок.

Правильність вибору виду заготовки можна визначити аналітично, аналізуючи коефіцієнти технологічності (див. розд. 3.2.2).

Детальне висвітлення питання по визначенню технологічної собівартості заготовок, які отримані у вигляді поковок, штамповок, проєктант знайде у навчальній та технічній літературі. Зупинившись на найбільш раціональному виді заготовки, проєктант викреслює її, розраховує розміри, для заготовок з сортового прокату обирає

найближчий розмір за ГОСТ (ДСТУ), визначає об'єм та масу заготовки, норму витрати матеріалу, розробляє технологічний процес її отримання.

Таблиця 3.2. Значення коефіцієнту K_L

Тип виробництва	Характер заготовок		
	відливки любими методами лиття	поковки	
		на молотах та кувальних машинах	на кривошипних пресах
Масове	1,0	0,8	0,65
Великосерійне	1,15	1,0	1,0
Серійне	1,35	1,4	2,0
Малосерійне	1,55	1,8	3,0

3.2.6. Технологічна документація, порядок її заповнення

До технологічних документів відносяться графічні та текстові документи, які окремо або у сукупності визначають технологічний процес виготовлення деталі або складальної одиниці.

Основними видами технологічної документації в розрахунково-графічній роботі є: маршрутна карта, операційна карта механічної обробки, карта ескізів та схем, операційна карта складання та карта технічного контролю.

Технологічні документи повинні виконуватися на бланках форма яких визначається та встановлюється ЄСТД. Терміни, визначення, позначення, одиниці фізичних величин, які застосовуються в документах, повинні відповідати діючим стандартам.

Маршрутна карта повинна містити опис технологічного процесу виготовлення деталі за усіма операціями в технологічній послідовності (див. додаток 1). Карта складається з двох частин. Верхня частина карти слугує для запису загальних організаційно-технічних задач: назви організації, децимального номеру виробу (деталі), найменування деталі, її номеру. Записується матеріал деталі, стандарт на нього, маса деталі та

всі дані по виду заготовки, також містить прізвища проектанта та керівника розрахунково-графічної роботи. Нижня частина карти використовується для оформлення маршрутного технологічного процесу. В ній заповнюються: цех, ділянка, номер операції, найменування та зміст операції, обладнання, пристосування які використані, різальний та мірильний інструменти, норми часу.

Найменування операцій виражають прикметником, похідним від виду встаткування або ім'ям іменником. Наприклад: токарна, фрезерна, свердлильна або термообробка, металізація тощо.

Операційна карта механічної обробки повинна містити опис технологічної операції з визначенням переходів, режимів обробки, норм часу та даних про засоби технологічного оснащення. Вона також складається з двох частин. У верхній частині карти розміщуються загальні положення про виконання даної технологічної операції. В цій же частині розміщується операційний ескіз деталі, де зображують деталь після обробки на даній операції з позначенням розмірів поверхонь, що оброблюються, шорсткості та технологічних баз. Поверхні, які оброблюються зображуються жирними лініями. Також там повинні бути прізвища проектанта та керівника розрахунково-графічної роботи (див. додаток 2).

Нижня частина карти містить докладний опис переходів, дані про інструменти, режими обробки та норми часу.

Зміст переходів записується дієсловом у наказовій формі: «обточити», «фрезерувати», «розточити», «свердлити» або з вказанням номеру поверхні, що оброблюється: «шліфувати поверхню 4», «розгорнути отвір 6» тощо. Операції та переходи нумеруються арабськими цифрами.

Прийоми роботи також записуються в наказовій формі: «встановити деталь», «закріпити деталь», «зняти» тощо.

Обладнання, яке застосовується позначається скороченим найменуванням моделі, наприклад, «токарно-гвинторізний, 16K20».

Для різального, допоміжного та мірального інструменту, що використовуються, дається коротка характеристика у відповідних графах, наприклад, «свердло Ø 15, Р6М5», «фреза Ø 120, Z=70, Р6М5», «різець прохідний 10Х12, ТІ5К6», «скоба h7», «пробка К6» тощо.

Якщо використовується контрольне або технологічний пристосування, то вказується його найменування, наприклад, «ділильне пристосування», «пристосування для фрезерування», «кондуктор скальчатий» тощо.

При визначенні розряду роботи та нормування праці робочих при механічній обробці металів та інших матеріалів необхідно користуватися «Єдиним тарифно-кваліфікаційним довідником».

Карта ескізів та схем містить ескізи, схеми та таблиці, які необхідні для виконання технологічного процесу, операції або переходу виготовлення деталі та складання.

Ескізи та схеми (див. додаток 3 та 4) повинні містити усі дані, які необхідні для виготовлення, складання, контролю або випробування. На ескізах вказують розміри, допустимі відхилення, шорсткість поверхні, технологічні бази та інші дані, які необхідні для виконання операції виготовлення або технологічного контролю. Ескізи та схеми викреслюються в довільному масштабі. Кількість видів, розрізів на ескізі встановлює проєктант. Поверхні, які оброблюються обводять суцільною лінією, яка дорівнює від 2 до 3 товщинам основної лінії. На ескізах поверхні, що оброблюються нумерують арабськими цифрами. Номер проставляють в окружності діаметром 6 – 8 мм та з'єднують виносною лінією з зображенням цієї поверхні. Допускається на одній карті ескізів виконувати кілька ескізів до декількох операцій. В основному надпису в цьому випадку в графі «номер операції» необхідно проставити номери

операцій, для яких виконані ескізи.

Операційні ескізи складання зображуються у вигляді закінченого складання з вказанням тільки тих позицій складальних елементів, які беруть участь у цій технологічній операції.

Маршрутна та операційна карта складання побудовані за одним принципом з відповідними картами механічної обробки (див. додатки 5 та 6).

Операційна карта контролю розроблюється або на кожну операцію, або на весь технологічний процес виготовлення або складання приладу. У верхній частині карти записується загальні положення по виконанню операції технічного контролю. У нижній частині – виконання даної операції, пристосування, інструмент, процент контролю та особливі вказівки по контролю. Приклад заповнення карти дивіться додатки 7, 8.

Правила оформлення документів на більшість процесів регламентовані ГОСТ.

3.2.7. Проектування маршрутної технології

Розробка маршрутного технологічного процесу входить до комплексу взаємопов'язаних робіт, передбачених єдиною системою технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ).

Маршрут обробки представляє собою перелік операцій технологічного процесу виготовлення заданої деталі та виконується на «Маршрутних картах». Маршрут обробки слід встановлювати за умови вибору чорнових та чистових баз, забезпечення заданої точності обробки та шорсткості поверхонь. Крім того, на маршрут обробки впливають форма, розміри, технічні умови та матеріал деталі, а також вид заготовки та прийняті організація виробництва.

При розробці маршрутної технології слід керуватися наступними принципами:

1. В першу чергу оброблюють поверхні, що є базовими при подальшій обробці.
2. Потім оброблюються поверхні, з яких знімається найбільший шар металу.
3. Далі виконують обробку тих поверхонь, з яких при знятті металу в найменшому ступені зменшується жорсткість деталі.
4. Спочатку необхідно виконувати ті операції технологічного процесу, на яких можливий через дефекти металу (тріщини, раковини тощо).
5. Поверхні, точність взаємного розташування яких чітко визначена (соосність, перпендикулярність, паралельність осей тощо), оброблюють при одній установці.
6. Суміщення чорнової та чистової обробок в одній операції та на одному обладнанні небажано.
7. При виборі установочних баз слід прагнути до дотримання двох основних умов: суміщенню технологічних баз с конструкторськими; постійності баз, тобто вибору такої бази, орієнтуючись на яку можна провести всю, або майже всю, обробку деталі, наприклад, центрові отвори валу, вісі, які слугують базою майже для всіх операцій технологічного процесу.

Маршрутній технології передуює карта ескізів та схем, на якій зображується задана деталь. Вона допомагає читати маршрутний технологічний процес та створює чітке уявлення про порядок обробки поверхонь деталі. Ескіз деталі потрібно викреслювати з повним дотриманням правил креслення. Масштаб обирається довільно. Приклади заповнення карт ескізів та маршрутної наведені у додатку.

Від правильності розробки маршруту обробки залежить успіх в

рішенні наступних технологічних задач.

3.2.8. Проектування операційного технологічного процесу

Розробка технологічних процесів провадиться для виготовлення деталей, конструкції яких відпрацьовані на технологічність. Розробці операційного технологічного процесу передують проектування маршрутної технології.

В загальному випадку розробка технологічного процесу включає комплекс взаємопов'язаних робіт: вибір заготовок, технологічних баз; визначення послідовності та зміст технологічних операцій; визначення, вибір та проектування нових засобів технологічного оснащення; призначення та розрахунок режимів обробки; нормування процесу, визначення професій та кваліфікації виконавців; організація виробничих ділянок; оформлення робочої документації та технологічні процеси. Ці роботи описані у відповідних розділах даних методичних вказівок до виконання розрахунково-графічних робіт.

Задача проектанта зводиться до докладної розробки кожної технологічної операції з урахуванням установок, переходів, проходів та інших елементів технологічного процесу.

Всі операції слід починати з установу:

1. Встановити деталь у пристосування, закріпити та зняти.

Потім йде докладний опис переходів. Для кожного переходу призначається допоміжний, різальний та вимірювальний інструмент, а також розраховується діаметр або ширина обробки та довжина обробки. Діаметр або ширина обробки беруться з ескізу. Розрахункові значення довжини обробки слід визначати по формулі

$$L = l + y_1 + y_2, \quad (3.14)$$

де l – довжина поверхні, що оброблюється в мм; y_1 – величина врізання в

мм; y_2 – величина перебігу в мм, зазвичай приймають 1...2 мм.

Приклади заповнення операційних карт дивіться в додатках.

3.2.9. Розрахунок припусків та проміжних розмірів

Розрахунок припусків та проміжних розмірів слід вести за методикою, яка представлена у [1].

Таблиця 3.3. Розрахунок припусків та проміжних розмірів

№ п/п	Для зовнішніх поверхонь	Для внутрішніх поверхонь
1	Користуючись робочим кресленням деталі записати в розрахункову карту оброблювані поверхні заготовки та технологічні переходи в порядку послідовності їх виконання від заготовки до кінцевої обробки.	
2	Записати значення R_z , T , ρ , ε та δ .	
3	Визначити розрахункові величини припусків на обробку за всіма технологічними переходами.	
4	Записати для кінцевого переходу в графу «Розрахунковий розмір» деталі за кресленням	Записати для кінцевого переходу в графу «Розрахунковий розмір» найбільший граничний розмір деталі за кресленням
5	Для переходу, який передус кінцевому, визначити розрахунковий розмір шляхом:	
	– додавання до найменшого граничного розміру за кресленням Z_{min}	– віднімаючи від найбільшого граничного розміру за кресленням Z_{min}
6	Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного попереднього переходу шляхом додавання до розрахункового розміру (віднімання від розрахункового розміру) який слідує за ним суміжного переходу розрахункового припуску Z_{min}	
7	Записати найменші (найбільші) граничні розміри за всіма технологічними переходами, округляючи їх шляхом збільшення (зменшення) розрахункових розмірів.	
8	Визначити найбільші (найменші) граничні розміри шляхом додавання (віднімання) допуску до округленого (з округленого) найменшого граничного розміру (найбільшого граничного розміру).	

Продовження таблиці. 3.3.

9	Записати граничні значення припусків Z_{max} як різницю:	
	– найбільших граничних розмірів та Z_{min} , як різницю найменших граничних розмірів, попереднього та виконуемого переходів	– найменших граничних розмірів та Z_{min} , як різницю найбільших граничних розмірів, виконуемого та попереднього переходів
10	Визначити загальні припуски Z_{0max} та Z_{0min} , підсумовуючи проміжні припуски на обробку.	

Приклад. Зробити розрахунок припусків та проміжних розмірів по технологічним переходам при обробці отвору Ø 6H7 (рис. 3.1)

Маршрут обробки
поверхні:

1. свердління;
2. розгортання попереднє;
3. розгортання точне;
4. розгортання тонке.

В результаті обробки
отримуємо Ø6H7 = Ø6^{+0,013}.

Розрахунок ведемо з останнього

переходу. Визначаємо припуск під розгортання тонке [1].

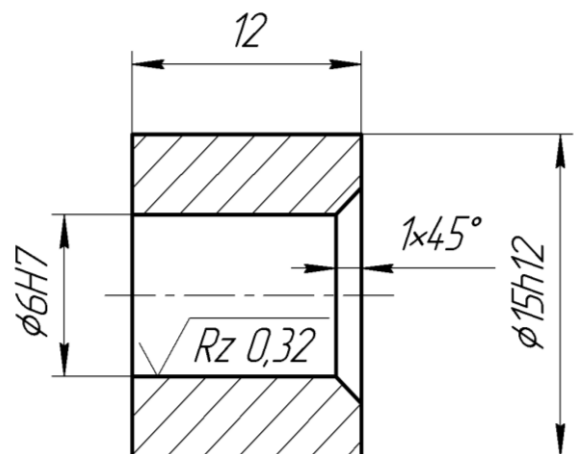


Рис. 3.1.

$$2Z_{min} = 2(R_z + T) + 2(\bar{\rho} + \bar{\varepsilon})$$

$$R_z = 5 \text{ мкм}; T = 10 \text{ мкм}; \rho = 2 \text{ мкм}; \varepsilon = 0; \delta\alpha = 22 \text{ мкм}.$$

$$2Z_{min} = 2(5 + 10) + 2(2 + 0) = 34 \text{ мкм}$$

Міжопераційний розмір після точного розгортання

$$\alpha_{min} = \beta_{min} - 2Z_{\beta min} - \delta\alpha = 6,0 - 0,034 - 0,022 = 5,944$$

Припуск під точне розгортання [1]

$$2Z_{\beta min} = 2(R_z + T) + 2(\bar{\rho} + \bar{\varepsilon})$$

$R_z=10\text{мкм}; T=15\text{мкм}; \rho=5\text{мкм}; \varepsilon=0; \delta\alpha=58\text{мкм}.$

$$2Z\vartheta_{min}=2(10+15)+2(5+0) = 60\text{мкм}$$

Міжопераційний розмір після нормального розгортання

$$\alpha_{min} = \vartheta_{min} - 2Z\vartheta_{min} - \delta\alpha = 5,944 - 0,06 - 0,058 = 5,826$$

Припуск під нормальне розгортання

$$2Z\vartheta_{min}=2(R_z+T)+2(\overline{\rho}+\overline{\varepsilon})$$

де $\delta\alpha=130\text{мкм}; T=40\text{мкм}; \Delta y=2,1\text{мкм}; R_z=20\text{мкм}; C_O=10\text{мкм}.$

$$\rho = \sqrt{C_0^2 + (\Delta y * \ell)^2} = \sqrt{10^2 + (2.1 * 12)^2} = 17.3\text{мкм}$$

$$\overline{\varepsilon} = \overline{\varepsilon\delta} + \overline{\varepsilon_3}; \quad \varepsilon\delta = 100\text{мкм}; \quad \varepsilon = 0;$$

$$\overline{\rho} + \overline{\varepsilon} = \sqrt{17,3^2 + 100^2} = 114\text{мкм};$$

$$2Z\vartheta_{min}=2(20+40)+2*114=348\text{мкм}.$$

Міжопераційний розмір після свердлування визначається за формулою

$$\alpha_{min} = \vartheta_{min} - 2Z\vartheta_{min} - \delta\alpha = 5,826 - 0,348 - 0,13 = 5,348$$

У відповідності до ГОСТ на діаметри свердлів маються свердла Ø5,0 та Ø5,5мм. Обираємо в якості робочого діаметру Ø5,5мм.

3.2.10. Розрахунок режимів обробки

Розрахунок режимів різання займає в розрахунково-графічній роботі значне місце не тільки за об'ємом, але й за трудомісткістю, яка пов'язана зі складними обчисленнями, обґрунтуваннями та висновками.

Режими різання матеріалів визначається за такими основними параметрами: глибиною різання t , мм; подачею S , мм/об, мм/зуб, мм/хв.; швидкістю різання V , м/хв.; числом обертів шпинделя верстата n , об/хв.

Вихідними для вибору режиму різання є:

1. Дані про деталь, що оброблюється: вид матеріалу та його

характеристики (марка, стан, механічні властивості); форма, розміри та допуски на обробку; допустимі відхилення від геометричної форми; шорсткість, яка вимагається та стан поверхневого шару;

2. Дані про заготовку, вид заготовки, величина та характер розподілення допусків, стан поверхневого шару;
3. Паспортні дані обладнання.

Елементи режимів різання обирають так, щоб була досягнута найбільша продуктивність праці при найменшій собівартості операції. Їх вибір не від'ємний від вибору різального інструменту (з точки зору його матеріалу, конструкції та геометрії різальної крайки).

Розрахунок режимів різання слід проводити в наступній послідовності:

- 1) Глибину різання встановлюють в залежності від припуску на обробку та числа проходів. Припуск необхідно розбивати на чорновий, чистовий та оздоблювальний по кожному виду обробки. Кожному виду обробки відповідає своя глибина різання.
- 2) В залежності від обраного ріжучого інструменту, глибини різання, оброблюваного матеріалу, характеристики верстата та шорсткості, що вимагається визначають подачу

$$S = \frac{q}{t}, \quad (3.15)$$

де q – перетин стружки в мм^2 ; t – глибина різання в мм .

Дійсну подачу приймають за паспортом верстата, яка найближча до розрахункової.

- 3) За нормативами в залежності від типу та розмірів інструменту, характеристики оброблюваної деталі та умов роботи обирається період стійкості ріжучого інструменту.
- 4) Теоретична швидкість різання визначається за формулою

$$V_T = \frac{C_V}{t^{X_V} * S^{Y_V}} * K_V, \quad (3.15)$$

де C_V – постійна величина, яка залежить від ряду факторів: матеріалу інструменту, оброблюваного матеріалу, виду обробки тощо; X_V та Y_V – показники ступеню відповідно при глибині та подачі; K_V – коефіцієнт, який враховує відхилення прийнятих даних від табличних.

- 5) Визначається теоретичне число обертів шпинделя

$$n_T = \frac{1000 * VT}{\pi D}, \quad (3.17)$$

де D – діаметр закріпленої у шпинделі деталі або інструменту.

За паспортом обладнання обирається найближче до теоретичного числа дійсне число обертів шпинделя n_d .

- 6) Дійсна швидкість різання визначається за формулою

$$V_d = \frac{\pi D * n_d}{1000} \quad (3.18)$$

- 7) Визначаються складові сили різання та крутний момент.

Вертикальна (тангенціальна) складова сили різання

$$R_Z = C_{PZ} * t^{X_{PZ}} * S^{Y_{PZ}} * K^{PZ}; \quad (3.19)$$

радіальна складова сили різання

$$P_Y = C_{PY} * t^{X_{PY}} * S^{Y_{PY}} * K^{PY}; \quad (3.20)$$

осьова складова сили різання

$$P_X = C_{PX} * t^{X_{PX}} * S^{Y_{PX}} * K^{PX}; \quad (3.21)$$

де C_{PZ} , C_{PY} , та C_{PX} – коефіцієнти, які залежать від оброблюваного матеріалу; X_{PZ} , X_{PY} , X_{PX} , Y_{PZ} , Y_{PY} , та Y_{PX} – відповідно показники ступенів при глибині різання та подачі; K^{PZ} , K^{PY} та K^{PX} – коефіцієнти, які враховують відхилення прийнятих даних від табличних.

Крутний момент визначається за одною з формул:

$$M_{KP} = P_Z \frac{D}{2} \text{ [кг·мм]} \text{ або } M_{KP} = P_Z \frac{D}{2} (9,81 \cdot 10^{-3}) \cdot [\text{Н·м}] \quad (2.22)$$

- 8) Потужність верстата, яка споживається складається з ефективної потужності Ne на інструменті

$$Ne = \frac{P_Z \cdot V_\partial}{60 \cdot 75 \cdot 1,36}, \text{ кВт} \quad (3.23)$$

та необхідної потужності на приводі верстата

$$N_{np} = \frac{Ne}{\eta} = \frac{P_Z V_\partial}{60 \cdot 102 \cdot \eta}, \quad (3.24)$$

де η – К.К.Д. верстата (в середньому $\eta = 0,8 \dots 0,85$). Коефіцієнт використання верстата за потужністю знаходимо з співвідношення

$$\eta = \frac{N_{nn}}{N_v} \quad (3.25)$$

де N_v – потужність електродвигуна обраного верстату.

Приклад 1. Операція – фрезування площини основи плити приладу. Верстат вертикально-фрезерний моделі 6Р13. Розмір оброблюваної поверхні $L \times B = 500 \times 150 \text{ мм}$. Матеріал – сталь 35ХМ з межею міцності при розтягуванні $\sigma_\sigma = 780 \text{ Н/мм}^2$ ($\sim 78 \text{ кгс/мм}^2$).

Характер заготовки – поковка с попередньо обробленою поверхнею. Припуск на обробку $Z_{min} = 1,5 \text{ мм}$; шорсткість поверхні $Rz 16$. Технологічна обробляюча система (ТОС) – жорстка.

Вибір різального інструменту. Приймаємо торцеву фрезу зі вставними зубцями, які оснащені пластинками твердого сплаву ТІ5К6 [2]. Приймаємо стандартну фрезу діаметром $\varnothing 250 \text{ мм}$ з числом зубців $Z = 8$. Значення геометричних параметрів фрези: $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_0 = 30^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$; $\alpha = 15^\circ$; $\gamma = -5^\circ$; $\lambda = 15^\circ$.

Призначаємо режими різання.

1. Встановлюємо глибину різання $t = Z_{min} = 1,5 \text{ мм}$.

2. Для досягнення шорсткості поверхні R_z 16 при $\varphi_1 = 5^\circ$ та межі міцності сталі $\sigma_s > 70 \text{ кгс/мм}^2$ рекомендується подача $S_o = 1,0 \dots 0,7 \text{ мм/об}$ [2]. Для жорсткої ТОС приймаємо верхню межу подачі $S_o = 1,0 \text{ мм/об}$. Подача на зуб фрези складе $S_z = S_o/Z = 1/8 = 0,125 \text{ мм/зуб}$.

3. Призначаємо період стійкості фрези [2]. Для діаметру фрези $\varnothing 250 \text{ мм}$ $T=240 \text{ хв}$. Величина допустимого зносу задньої поверхні зубців фрези $h_3=1,0 \text{ мм}$ [2].

4. Визначаємо швидкість різання, яка допускається ріжучими властивостями фрези:

$$V_T = \frac{C_V * D^{q_V}}{T^m * t^{x_V} * S^{y_V} * B^{u_V} * Z^{P_V}} * K_V$$

Для даних умов обробки: $S_V=332$; $q_V=0,2$; $X_V=0,1$; $Y_V=0,4$; $U_V=0,2$; $P_V=0$; $m=0,2$ (табл. 3, стор. 23 [2]).

Поправочний коефіцієнт на оброблюваний матеріал

$$K_V=75/Gb=75/78=0,96$$

$$V_T = \frac{332 * 250^{0,2}}{240^{0,2} * 1,5^{0,1} * 0,125^{0,4} * 150^{0,2}} * 0,96 = 262 \text{ мм / хв}$$

5. Частота обертання шпинделя верстата

$$n = \frac{1000 V_T}{\pi D} = \frac{1000 * 262}{3,14 * 250} = 334 \text{ об / хв}$$

Коригуємо число обертів шпинделя за паспортними даними верстата:

$$n_q = 300 \text{ об/хв.}$$

6. Дійсна швидкість різання

$$V_q = \frac{\pi * D n_q}{1000} = \frac{3,14 * 250 * 300}{1000} = 236 \text{ мм / хв}$$

7. Хвилинна подача

$$S_M = S_z * Z * n_q = 0,125 * 300 = 300 \text{ м/хв.}$$

Коригуємо хвилинну подачу за паспортними даними верстата та встановлюємо дійсне значення хвилинної подачі

$$S_{Mq}=300 \text{ м/хв.}$$

8. Визначаємо потужність, яка витрачається на різання

$$N_{piz}=C_N*10^{-5}D^{OVN}*t^{XN}*S_Z^{YN}*B^{UN}*Z^{PN}*n^{ZN}*K_N$$

Для заданих умов обробки знаходимо [2]:

$$Y_N=0,75; u_N=1,1; P_N=1,0; Z_N=0,8$$

Враховуємо поправочні коефіцієнти

$$K_{MN}=(78/75)^{0,3}=1,02; K_{\varphi N}=1,0; K_{\gamma N}=0,95$$

$$N_{piz}=\frac{424*1,5*0,125^{0,75}*150^{1,1}*8*300^{0,8}}{10^5*250^{0,3}}*1,02*0,95=4,65\text{квт}$$

9. Визначаємо потужність приводу верстата: $N_{piz} < N_{un}$

У верстата моделі 6P13 потужність $N_M = 10$ кВт, $n = 0,75$.

$N_{un} = N_M * n = 10 * 0,75 = 7,5$ кВт, отже обробка можлива ($4,65 < 7,5$).

Приклад 2. Необхідно розрахувати режими обробки при свердлуванні отвору діаметром 5,5 мм в сталевій деталі (1Х18Н9Т).

1. Обираємо свердло Ø 5,5 мм з подвійний кутом біля вершини $2\varphi=118^\circ$.

2. Глибина різання $t = D/2 = 5,5/2 = 2,75$ мм.

3. Визначаємо величину подачі [3]

$$1. S = 0,045-0,09 \text{ мм/об}$$

За паспортом верстата моделі 1А150П приймаємо $S = 0,045 - 0,09$ мм/об.

2. Теоретична швидкість різання [3]

$$V_T = \frac{C_V * D^{ZV}}{T^m * S^{YV}}$$

Стійкість свердла прийняти рівною $T = 60$ хв

$$V_T = \frac{5 * 5.5^{0.4}}{60^{0.2} * 0.12^{0.7}} = 19.6 \text{ м/хв}$$

де $C_V = Z_V = 0,4$; $m = 0,2$; $Y_V = 0,7$.

4. Теоретичне число обертів шпинделя верстата

$$n_T = \frac{1000 V_T}{\pi * D} = \frac{1000 * 19.6}{3.14 * 5.5} = 1040 \text{ об/хв}$$

Найближче за паспортом верстата $n_q = 996$ об/хв.

5. Дійсна швидкість різання

$$V_q = \frac{\pi D * n_q}{1000} = \frac{3.14 * 5.5 * 996}{1000} = 17,2 \text{ м/хв.}$$

6. Тангенціальна складова сили різання

$$3. P_Z = C_{PZ} * D * S^{Y_{PZ}} * K_{PZ}$$

де $C_{PZ} = 84,7$; $Y^{PZ} = 0,7$; $K_{PZ} = 1,0$ [3].

$$4. P_Z = 84,7 * 5,5 * 0,12^{0,7} * 1,0 = 106 \text{ Н}$$

7. Крутний момент

$$M = C_m * D^n * S^{Y_m} * K_M$$

де $C_m = 33,8$; $Y_m = 0,8$; $K_M = 1,0$; $n = 1,9$ [3]

$$M = 33,8 * 5,5^{1,9} * 0,12^{0,8} * 1,0 = 160 \text{ Нм}$$

8. Ефективна та необхідна потужність верстата

$$N_{np} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{M * n_q}{716200 * 1.36 * \eta} = \frac{160 * 996}{716200 * 1.36 * 0.85} = 0.2 \text{ кВт}$$

$$N_{cm} = 8,75 > N_{np} = 0,2$$

3.2.11. Технічне нормування

Після виконання усіх попередніх робіт по розробці технологічного процесу механічної обробки та визначення режимів різання, приступають до технічного нормування, тобто до визначення

основного (машинного) часу, штучного часу та норми виробітки на кожну операцію. Встановлення технічно обґрунтованих норм часу слід проводити в такій послідовності.

1. Основний час для багатьох видів обробки визначається за формулою

$$T_O = \frac{L}{S_M} \cdot i = \frac{l + Y_1 + Y_2}{S \cdot n} \cdot i \quad (3.26)$$

де L – розрахункова довжина проходу в мм (складається з довжини обробки l , шляху врізання Y_1 та шляху перебігу Y_2); S_M – хвилинна подача в мм/хв.; i – кількість проходів.

2. Допоміжний час T_∂ складається з наступних витрат: час на встановлення та зняття деталі; час пов'язаний з переходом; час на зміну режимів роботи обладнання та на заміну інструменту; час на контроль поверхні, яка оброблюється. Визначається допоміжний час за нормативами.

3. В серійному виробництві необхідно враховувати підготовчо-заклучний час $T_{n.з.}$, який розраховується на партію деталей. Визначається $T_{n.з.}$ за відповідними нормативами.

4. Норму штучного часу на операцію $T_{шт}$ підраховують за формулою:

$$T_{шт} = T_O + T_\partial + T_{т.обс.} + T_{о.обс.} + T_{відп.} \quad (3.27)$$

де $T_{оп} = T_O + T_\partial$ – оперативний час; $T_{т.обс.}$ – час на технічне обслуговування робочого місця; $T_{о.обс.}$ – час організаційного обслуговування робочого місця; $T_{відп.}$ – час на відпочинок та природні потреби робочого.

Для спрощення підрахунку норми штучного часу, час на обслуговування робочого місця та час на відпочинок беруть у відсотках по відношенню до оперативного ($T_O + T_\partial$) часу. В цьому випадку для визначення норми штучного часу застосовують формулу

$$T_{шт} = (T_o + T_e) \left(1 + \frac{\varphi + \beta + \gamma}{100}\right) \quad (3.28)$$

де $\varphi = (1,0 \dots 3,5) \%$ – відсоток часу на технічне обслуговування робочого місця; $\beta = (0,8 \dots 2,5) \%$ – відсоток часу на організаційне обслуговування робочого місця; $\gamma = (4,0 \dots 8,0) \%$ – відсоток часу на відпочинок.

5. Норму часу на операцію в умовах серійного виробництва називають штучно-калькуляційною нормою часу та визначають за формулою

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{н.з.}}{n} \quad (3.29)$$

де n – кількість деталей в партії.

6. Норма виробки за зміну визначається

$$N_{см} = \frac{T_{см}}{T_{шк}} \quad (3.30)$$

де $T_{см}$ – тривалість робочої зміни в хв.

7. Визначається розцінка на операцію

$$P = C_1 * K * T_{шк} \quad (3.31)$$

де C_1 – тарифна ставка робітника першого розряду;

K – тарифний коефіцієнт.

3.2.12. Вибір та розрахунок різального інструменту

Для технологічного процесу, що розроблюється потрібно обирати стандартний різальний інструмент, але разом з тим, коли доцільно, слід використовувати спеціальний, комбінований, фасонний інструмент, який дозволяє поєднувати обробку декількох поверхонь, скорочуючи тим самим машинний час.

У відповідності з завданням для одної з операцій технологічного

процесу, який проектується конструюється спеціальний робочий ріжучий інструмент. Вибір конструкції повинен бути обумовлений технічною та економічною доцільністю. Такими інструментами можуть бути фасонні різці, набори фрез, протяжки для фасонних поверхонь, багатоступеневі зенкери та розгортки, комбінований інструмент тощо.

Проектування різального інструмента, крім розробки його конструкції, повинно включати необхідні розрахунки геометричних параметрів, форми та розмірів інструменту, наприклад, перетину державки різця, діаметру отвору фрези, розміру конусного хвостовика свердла або зенкера, числа зубців, величини затилування, шагу гвинтової канавки, зовнішнього та внутрішнього діаметру профілю різьбового інструмента тощо. У всіх випадках бажано привести розрахунок на міцність. Вибір матеріалу для інструменту повинен проводитися в залежності від форми та розмірів інструменту, матеріалу оброблюваної деталі, прийнятих режимів різання та типу виробництва.

Креслення ріжучого інструменту роблять після його розрахунку. На кресленні вказують всі дані, які необхідні для виготовлення інструменту. Він повинен мати достатню кількість видів, розрізів та перетинів для того, щоб дати наглядне уявлення про форму та конструкцію та відповідати вимогам ЕСКД.

При виконання робочих креслень ріжучого інструменту допускаються наступні умовності: у багатозубого інструменту викреслюють тільки 2-3 зубці; гвинтові лінії у фрез; розгортки та іншого інструменту замінюють прямими лініями; канавки у розгортках, метчиків та фрез в ряді випадків не зображують; перетини для позначення геометричних параметрів викреслюють неповними; профіль фасонного інструменту викреслюють у великому масштабі.

На кресленні інструменту повинні бути вказані технічні вимоги до виготовлення та прийманні даного інструменту.

3.2.13. Вибір, опис конструкції та розрахунок вимірювального інструменту та пристосування

Вимірювальний інструмент, яки використовується для між операційного та кінцевого контролю деталі, в залежності від типу виробництва може бути як стандартний, так і спеціальний. Для одної з операцій проектує мого технологічного процесу конструюється спеціальне контрольне пристосування. Заміна найпростіших вимірювальних інструментів складними багатомірними контрольними пристосуваннями повинна сприяти підвищення продуктивності праці контролерів, створювати умови для поліпшення якості продукції та зниження її собівартості.

Розробку конструкції контрольного пристосування слід проводити в масштаб 1:1. Виключення можуть складати випадки, коли пристосування мають дуже великі або малі габаритні розміри, тоді їх виконують в іншому масштабі.

На кресленні контрольного пристосування показують усі необхідні види та перетини, а також усі дані, які необхідні для його виготовлення.

В пояснювальній записці дається обґрунтування вибору конструкції пристосування, опис та методика користування ним, точностні розрахунки, а також вибір матеріалу для відповідальних деталей.

Для контролю плоскостності, відхилення від паралельності та не перпендикулярності поверхонь слід проектувати пристосування з індикаторами. Схеми контрольних пристосувань з використанням індикаторів наведені на рис. 3.2.

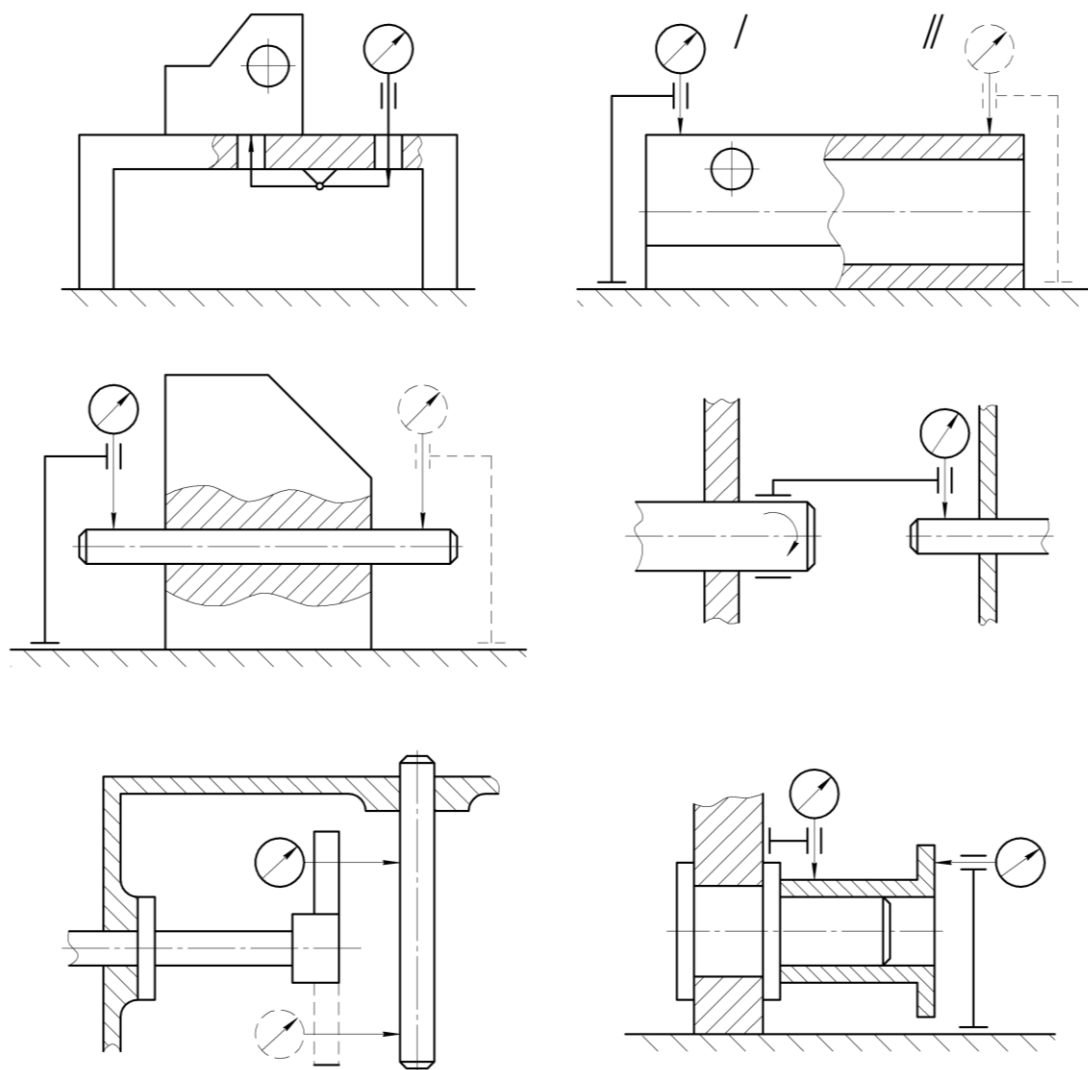


Рис. 3.2. Схеми контрольних пристосувань.

Проектування контрольних пристосувань слід вести за наступною методикою. Спочатку виконується аналіз схеми установки та закріплення деталі, яка контролюється в пристосуванні. Виходячи з точності контролюємих параметрів, стану базових поверхонь обираються установочні елементи пристосування. Деталь, яка контролюється викреслюється на креслення умовними тонкими лініями та вважається прозорою. Головний вид відповідає робочому положенню. На контурі деталі викреслюються установочні елементи на усіх проекціях, елементи кріплення деталі, переміщення та вимірювання. Обираються допоміжні елементи, конструкція корпусу. Необхідно при проектуванні пристосувань приділяти увагу зручності установки,

вимірювань та зняття деталей

3.2.14. Проектування технологічної оснастки

Для трьох різних операцій технологічного процесу, який проектується розроблюється технологічна оснастка. Робота студента повинна носити самостійний творчий характер та не повторювати існуючу заводську технологічну оснастку. Вибір типу технологічної оснастки залежить від характеру виробництва та інших факторів. Правильно обрана технологічна оснастка повинна відповідати підвищенню продуктивності праці, точності обробки, поліпшенню умов праці, культури виробництва.

При проектуванні технологічної оснастки бажано застосовувати пневматичні, гідравлічні, електричні, магнітні та інші приводи зажимів, передбачати можливість обробки деталі на двох позиціях або по декілька штук одночасно (багатомісні прстосування).

Робота над створенням технологічної оснастки складається з декількох етапів:

1. аналіз вихідних даних для проектування креслень обробляємих в технологічній оснастці деталей, технологічного процесу механічної обробки, дані про попередню операцію та можливі похибки, що виникають на ній, оптимального способу базування деталі, принципової схеми технологічної оснастки;

2. розробка ескізу технологічної оснастки;

3. розрахунок елементів технологічної оснастки.

При конструюванні технологічної оснастки проектант повинен дотримуватися наступної послідовності:

- накреслити контур деталі, що оброблюється в необхідній кількості видів, на такій відстані, щоб залишилось достатньо місця для

викреслювання проекцій усіх елементів технологічної оснастки: установочних, направляючих та зажимних;

- накреслити навколо контуру деталі, що оброблюється установочні або опорні елементи: рухомі та нерухомі опори, оправки, призми, направляючі елементи, кондукторні втулки тощо;
- накреслити зажимні та допоміжні елементи технологічної оснастки;
- накреслити корпус, виконати усі необхідні розрізи та перетини;
- проставити габаритні та контрольні розміри технологічної оснастки (діаметри кондукторних втулок, відстані між осями кондукторних втулок, відстані між базовими поверхнями тощо);
- розробити технічні умови на спроектоване пристосування.

Деталь, що оброблюється на загальному виді технологічної оснастки приймається «прозорою», тобто викреслюється кольоровими олівцем, або потовщеними штриховими лініями та всі деталі технологічної оснастки, які знаходяться за деталлю повністю, повністю зображуються на кресленні.

Приступаючи до проектування, необхідно проаналізувати конструкції технологічної оснастки, які мають для обробки однотипних деталей, намітити шляхи їх вдосконалення або заміни новою технологічною оснасткою, яка принципово відрізняється від старої. Поліпшення існуючих конструкцій може йти шляхом: заміни ручних зажимів швидкодіючими механічними, пневматичними, гідравлічними та електричними; перетворення одномісних технологічних пристосувань в багатомісні; автоматизація процесу встановлення та закріплення заготовки в пристосування та зняття готової деталі.

При проектуванні технологічної оснастки необхідно виконувати розрахунки по визначенню зусиль зажима пристроїв; точності базування; основних параметрів силового приводу.

3.3. Технологічна підготовка виконання складальних робіт

Складання є заключним етапом виготовлення приладу.

Приладобудівне складальне виробництво має ряд складностей пов'язаних з різноманітністю робіт, що не притаманні складанню (комплектування, електромонтаж, налаштування, випробування), малим рівнем механізації та автоматизації.

Кожний прилад складається з деталей, що з'єднуються в певній послідовності різноманітними видами з'єднань та утворюють сполучення різного рівня складності, які називаються складальними одиницями. Складальні одиниці, в свою чергу з'єднуючись між собою, утворюють виріб, прилад. Комплексно аналізуючи об'єкти складання, необхідно звернути увагу на наступні особливості:

- а) Ступінь розчленованості приладу, тобто кількість складальних одиниць, які входять у даний прилад, характеризує технологічність конструкції. Чим більше складальних одиниць в конструкції приладу, тим менше трудомісткість кінцевого складання. Розчленування приладу призводить до скорочення виробничого циклу його виготовлення за рахунок організації паралельного складання складальних одиниць.
- б) Характер з'єднання окремих деталей.

Правильний вибір способу складання підвищує точність складання або знижує трудомісткість операції.

Вся різноманітність з'єднань, які використовуються при складанні, можна поділити на нерухомі та рухомі, які можуть бути нерозбірними та розбірними.

Виконання цих з'єднань з заданою точністю в залежності від способу базування вирішується розрахунковим шляхом.

- в) Особливі вимоги, які пред'являються до об'єкту, який складається.

Ці вимоги зазвичай вказуються на кресленнях складальної одиниці приладу. В них відображається точність складання деталей, характерні умови на виконання операції тощо.

Технологічна підготовка складального виробництва є частиною технологічної підготовки виробництва виробу в цілому та включає наступні роботи: відпрацювання складальної одиниці на технологічність, проектування технологічного процесу складання, розробку системи контролю, освоєння технологічного процесу та складання нормативів.

3.3.1. Опис конструкції приладу або складальної одиниці

За кресленням загального виду приладу або складальної одиниці визначається призначення виробу та принцип його роботи, деяку інформацію про це несе назва виробу та його склад, який визначається за специфікацією. Аналізуються технічні умови на складання, перевіряються розміри, які зазначені на складальному кресленні, уточнюється їх важливість, тобто які з них потрібно витримати в процесі складання, які – в процесі регулювання, настройки при загальному складанні виробу.

На підставі всіх вказаних даних складається опис конструкції приладу або складальної одиниці, де відмічаються особливості даного виду виробів.

3.3.2. Відпрацювання приладу або складальної одиниці на технологічність

В поняття технологічності виробу при складанні входить простота складання виробу загалом та складальних одиниць без пригонки та

доробок, без селективного складання, яка забезпечується економічно доцільними допусками в розмірних, кінематичних та електричних ланцюгах. Технологічними виробами є ті, які забезпечують паралельність складання, можливість диференціації складання, найбільшу уніфікацію та нормалізацію деталей, можливість використання автоматизації процесів складання при найменшій кількості матеріалів та обладнання, що забезпечує скорочення виробничого циклу.

Оцінка технологічності конструкції проводиться за двома видами показників – абсолютним та відносним. Дані показники можуть бути частковими та комплексними. Часткові характеризують ознаки тільки даної конструкції приладу, комплексні ототожнюють групи часткових показників або показують різноманітні види технологічності конструкції виробу.

Комплексні показники технологічності визначаються як добуток часткових показників або відношенням добутку часток показників до їх кількості або суми; середньоарифметичною або середньозваженою величиною часток показників з введенням коефіцієнтів їх економічної еквівалентності; методом кореляційного аналізу статичних даних часткових показників; за системою балів, якими оцінюються показники технологічності тощо. Номенклатура показників може змінюватися в залежності від збільшення інформації про конструкцію виробу.

Основні показники технологічності:

1. Показник трудомісткості виготовлення виробу в цілому:

$$K_T = \frac{T_{\Sigma \text{вир.}}}{T_{\Sigma \text{баз.вир.}}},$$

де $T_{\Sigma \text{вир.}}$ – очікувана загальна трудомісткість виготовлення даного

виробу, $T_{\Sigma баз.вир}$ – трудомісткість виготовлення базового виробу або виробу, що виготовлявся раніше

$$T_{\Sigma вир.} = \sum_{i=1}^p T_{ni},$$

де T_{ni} – число всіх технологічних процесів.

2. Показник собівартості, який визначає ціну на ринку:

$$K_C = \frac{C_{\Sigma вир.}}{C_{\Sigma баз.вир}},$$

де $C_{\Sigma вир.} = C_{вир.} + \frac{C_{ТПП}}{N}$, $C_{\Sigma вир.}$ – витрати всього виготовлення приладу, накладних витрат (у приладобудуванні до 300%), $C_{ТПП}$ – витрати на обладнання, стенди.

Відносні показники технологічності:

1. Критерій складності виробу

$$K_{СКЛ} = \frac{N_{\Sigma}}{n_{\Sigma}},$$

де N_{Σ} – число основних складальних одиниць в приладі, n_{Σ} – число всіх деталей в виробі по специфікації.

Отриманий коефіцієнт оцінюється за наступною шкалою:

$K_{СКЛ} < 0,2$ – технологічність незадовільна,

$K_{СКЛ} = 0,2..0,4$ – технологічність задовільна,

$K_{СКЛ} > 0,4$ – технологічність добра.

2. Критерій уніфікації виробу

$$K_y = \frac{(N_y + n_y)}{(N_{\Sigma} + n_{\Sigma})},$$

де N_y – число уніфікованих складальних одиниць, N_{Σ} – число всіх складальних одиниць, n_y – число уніфікованих деталей, n_{Σ} – число всіх

деталей.

$K_y < 0,25$ – технологічність незадовільна,

$K_y = 0,25..0,5$ – технологічність задовільна,

$K_y > 0,5$ – технологічність добра.

3. Показник уніфікації складальних одиниць

$$K_{yco} = \frac{N_y}{N_{\Sigma}}$$

$K_{yco} < 0,2$ – технологічність незадовільна,

$K_{yco} = 0,2..0,4$ – технологічність задовільна,

$K_{yco} > 0,4$ – технологічність добра.

4. Показник уніфікації деталей

$$K_{y\partial} = \frac{n_y}{n_{\Sigma}}$$

$K_{y\partial} < 0,3$ – технологічність незадовільна,

$K_{y\partial} = 0,3..0,6$ – технологічність задовільна,

$K_{y\partial} > 0,6$ – технологічність добра.

5. Показник уніфікації технологічного процесу.

Уніфіковані операції – операції, які широко застосовуються на виробництві, раніше освоєні, для яких існує обладнання, технологічний процес самої операції, не потребують додаткового освоєння. До таких, процесів належать згвинчування, пресування, паяння, монтаж шарикопідшипникових опор, намотувальні процеси та ін.

$$K_{ун.опер} = \frac{K_{ун.оп.}}{K_{заг.оп.}}$$

$K_{ун.опер} < 0,5$ – технологічність незадовільна,

$K_{ун.опер} = 0,5..0,75$ – технологічність задовільна,

$K_{ун.опер} > 0,75$ – технологічність добра.

6. Комплексний показник уніфікації виробу.

$$K_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}$$

3.3.3.Схема складального складу

Структурну схему приладу добре ілюструє побудова *схеми ступенів складання виробу* (рис. 3.3), отриманої на основі аналізу конструкторської документації: креслень, специфікації, 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 ступеню складання, далі їх з'єднують у складніші структури – складальні одиниці другого ступеня складання і так далі, залежно від складності елемента, аж до останнього верхнього ступеня схеми, де розміщується останній складальний елемент – виріб. Чим складніший прилад, тим більше ступенів. Вона використовується як карта комплектування при складанні. Але вона не відбиває порядку складання, не показує з чого починати складання і в якій послідовності його вести. Для повного уявлення проходження процесу складання розробляється *технологічна схема складання*, яку створює технолог-складальник на початку проектування технологічного процесу складання. Така схема наочно показує з чого починати складання, які деталі і складальні одиниці і в якій послідовності подавати їх на складання.

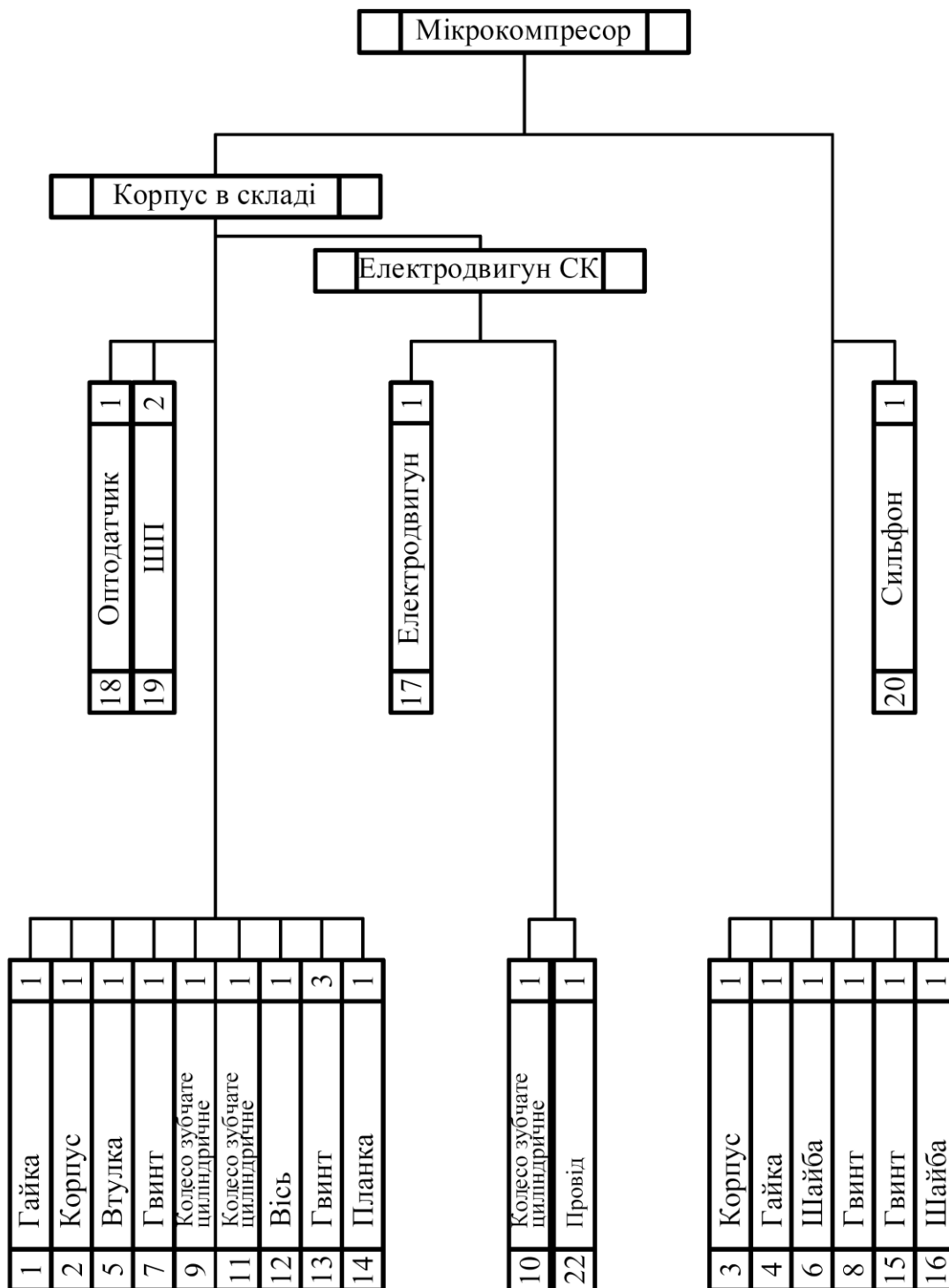


Рис. 3.3. Схема ступенів складання приладу

3.3.4. Технологічна схема складання

Проектування технологічної схеми складання починається з вибору базової деталі, з якої починається процес загального складання.

За неї приймають складну деталь на яку встановлюють всі інші деталі та вузли. Вона розташовується з лівої сторони схеми. Складання показується рухом злів на право: від базової деталі (складальної одиниці) до готового виробу (рис. 3.4).

Знизу на лінію загального складання подаються складальні одиниці складання, що показуються лініями складання складальних одиниць. Складання складальної одиниці також починається з базової деталі і для відмінності від загального складання в основному розташовується вертикально.

При розташування базової деталі зліва, окремі стандартні деталі та матеріали (клей, лак, мастило та інше) подаються на лінію складання зверху, а складальні одиниці та нестандартні (спеціальні) деталі знизу. Зверху, також, за допомогою окремих полиць доводять особливі види складальних робіт та контролю, окрім простих робіт по встановленню та з'єднанню елементів виробу.

Згідно з обраним порядком подачі деталей та складальних одиниць на лінію складання за технологічною схемою складання призначають операції в технологічному процесі та проектують сам технологічний процес з розподіленням його на складальні операції та переходи.

3.3.5. Проектування технологічного процесу складання

Проектування технологічного процесу складання складається з наступних етапів:

- на основі аналізу конструкторської документації розробляється схема складального складу і технологічна схема складання;
- визначається організаційна форма складання з врахуванням конструктивних особливостей виробу, річної програми випуску, умов взаємозамінності тощо;

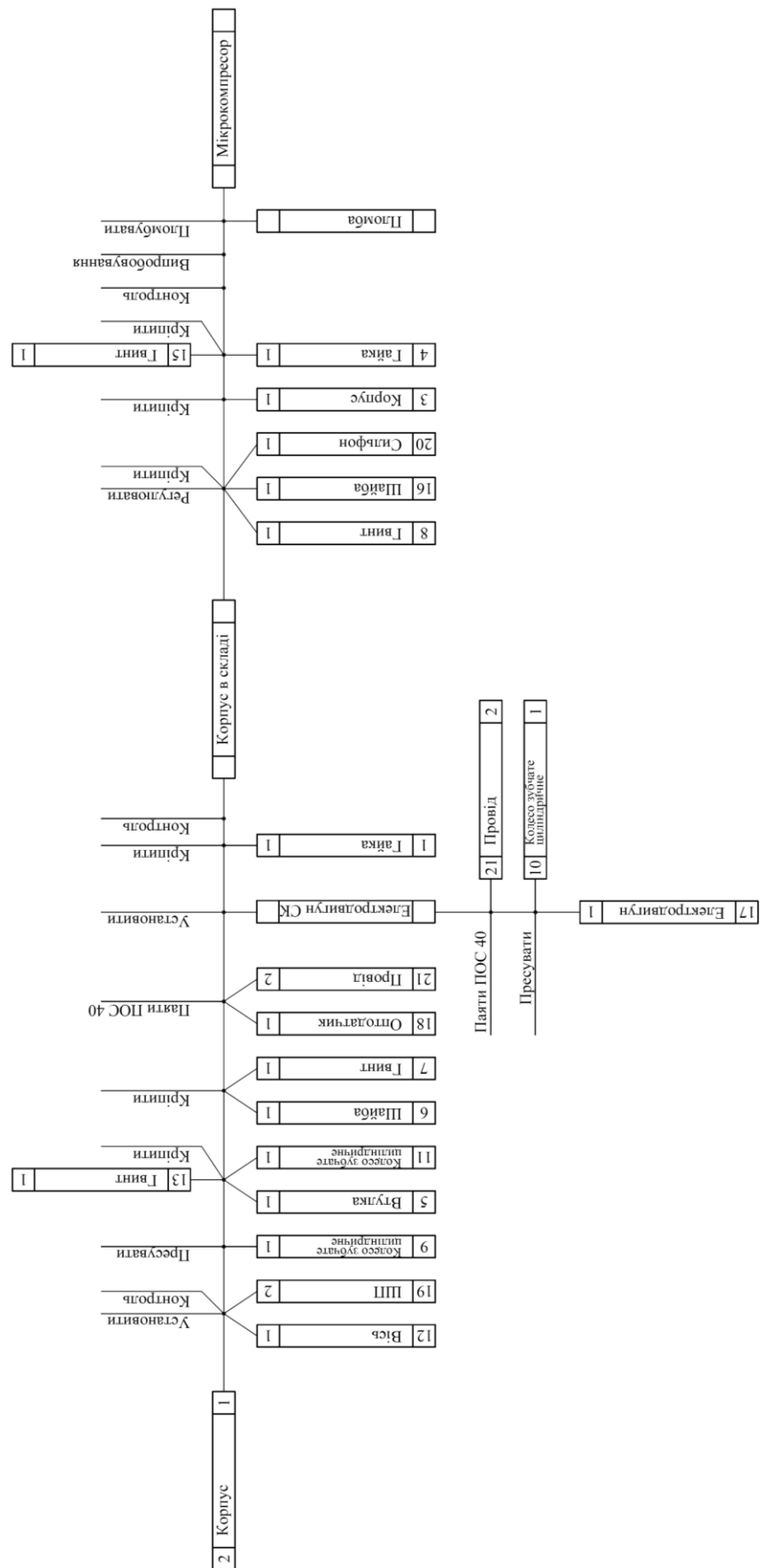


Рис. 3.4. Технологічна схема складання

- виконується вибір методу складання виходячи з вимог взаємозамінності і прийнятою організаційною формою складання;
- розробляється технологічний маршрут складання;
- вибирається обладнання робочих місць в відповідності до призначених складальних операцій;
- підбирається універсальна та проектується спеціальна технологічна оснастка;
- для виконання складальних операцій підбираються допоміжні матеріали (припій, флюс, клей тощо);
- встановлюються режими, проводиться нормування та визначається розряд роботи для кожної операції.

3.3.6. Маршрутний технологічний процес складання

Маршрут складання представляє собою перелік операцій в послідовності їх виконання. Починається маршрут з підготовчої операції, при виконанні якої виконується підготовка до складання, тобто отримання деталей зі складу, розконсервація, розмагнічення сталевих, промивання та контроль основних деталей. В подальшому маршрут будується з врахуванням поділу складання на дві складові: складання складальних одиниць і загальне складання приладу. Складання складальних одиниць зображено на технологічній схемі складання вертикальними лініями, а загальне складання приладу горизонтальною.

Важливим моментом при проектуванні технологічного процесу є встановлення послідовності операцій. При виборі послідовності операцій необхідно керуватися наступними рекомендаціями:

- а) попередні операції на повинні ускладнювати виконання наступних операцій і в наступних операціях точність складання повинна

збільшуватися;

- б) при потоковому складанні розкладення процесу на операції визначається ритмом складання. При цьому час виконання операції повинен дорівнювати або бути кратним ритму;
- в) операції при виконання яких можливий брак виконуються спочатку і після них виконується контроль правильності складання.

3.3.7. Операційний технологічний процес складання

Операційна технологія складання являє собою докладне проектування кожної операції з врахуванням її елементів.

Розробка кожної технологічної операції виконується в відповідності до технологічної схеми складання. Запис переходу починають з визначення виду робіт дієсловом наказової форми, далі записується об'єкт роботи (базова деталь) і результат виконання роботи. Операційна технологія доповнюється операційним ескізом, де вказується складальне креслення і деталі над якими проводяться складальні роботи в даній операції. Оформлення технологічної документації складальних робіт виконується шляхом заповнення технологічних карт. Основними з них є наступні:

1. Складальна маршрутна карта.
2. Складальна операційна карта.
3. складальні карти контролю.

3.3.8. Розрахунок точності складальних робіт

Розрахунок точності складальних робіт зводиться до двох видів розрахунків: геометричної точності та фізичної взаємозамінності (параметричної точності).

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. 3.5. На схемі вузла проставимо розміри $L_1, L_2, \dots, L_5$, які визначають значення та взаємне положення його елементів, розмір одержаного зазору $L_{зам}$. Ланка РЛ, яка отримується останньою в процесі складання механізму, називається замикаючою. Розміри, які входять до розмірного ланцюга і визначають значення замкнутої ланки, називаються складовими ланками ланцюга. Оскільки їх вплив на $L_{зам}$ у разі збільшення різний, то вони поділяються на ті, що збільшують, і ті, що зменшують.

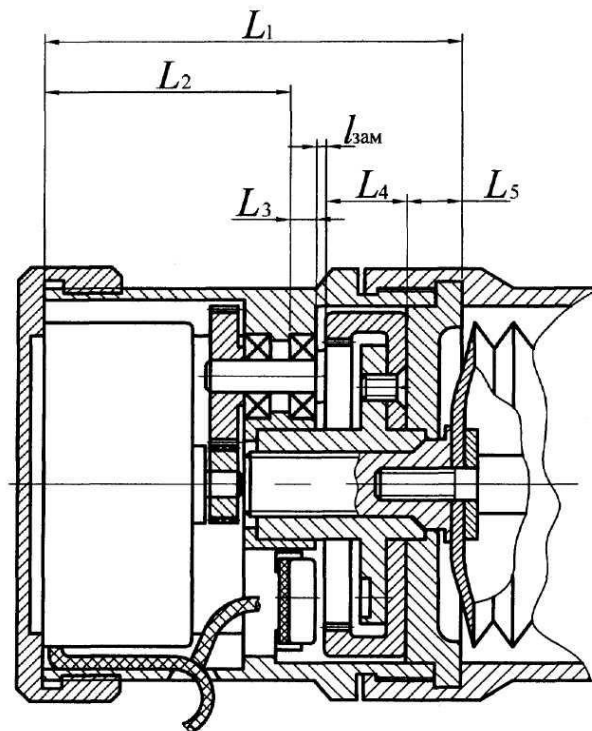


Рис. 3.5. Розмірний ланцюг.

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. 3.5 усі розміри змінюють $L_{зам}$ і входять до шуканого РЛ. Щоб зручніше та наочніше вирішити РЛ, зображують його графічно так, як показано на рис. 3.6.

Згідно з наведеним правилом розмір L_1 є такими, що збільшує $L_{зам}$, а решта (L_2, L_3, L_4, L_5) є такими, що зменшують $L_{зам}$. На рис. 3.6 зображено плоский лінійний РЛ. У техніці зустрічаються також криволінійні, об'ємні та інші РЛ.

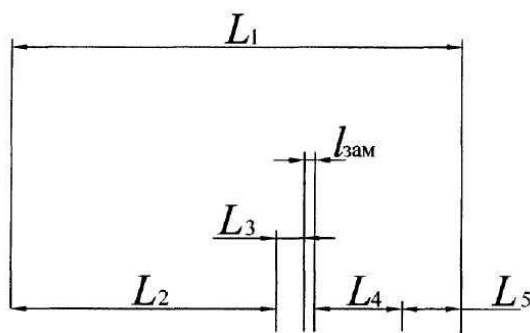


Рис. 3.6. Схема розрахунку розмірного ланцюга

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

$$L_{зам} = (L_1) - (L_2 + L_3 + L_4 + L_5).$$

Оскільки першу суму складають розміри, що збільшують замикаючу ланку, а другу – розміри, що зменшують її, то в загальному вигляді

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

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

Величини $L_1, L_2, \dots, L_{q-1}$ є незалежними змінними, між якими існує лінійний прямий зв'язок. Тоді похибка замикаючої ланки $\Delta L_{зам}$ пов'язана з похибками ланок також прямою лінійною сумарною залежністю

$$\Delta L_{зам} = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \dots + \Delta L_{q-1} = \sum_{1}^{q-1} \Delta L_i,$$

де $\Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_{q-1}$ – похибки складових ланок РЛ.

Задача забезпечення геометричної точності при складанні може бути вирішена наступними методами:

1. метод повної взаємозамінності;
2. метод не повної взаємозамінності;
3. метод групової взаємозамінності;
4. метод регулювання;
5. метод доопрацювання «по місцю».

При виконанні РГР найбільш доцільно використовувати метод повної взаємозамінності.

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 $\Delta L_1 = |\delta_1|$; $\Delta L_2 = |\delta_2|$, ...; $\Delta L_{q-1} = |\delta_{q-1}|$, то в разі переходу до допусків за даного методу складання має справджуватись умова

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

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 $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{q-1}$. Необхідно визначити результуючу точність замикаючої ланки або знайти її допуск $\delta_{зам}$. Існують три методи розв'язання цього завдання.

Розрахунок замикаючої ланки координатним методом.

Допуск визначаємо за рівнянням (3)

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

як арифметичну суму всіх допусків складових ланок. Потрібно визначити його зміщення відносно нульової лінії розміру $l_{зам}$.

Таке зміщення визначається координатами його відхилень: верхнього (ВВ) та нижнього (НВ). Щоб знайти їх, використаємо

координати середини меж допусків K_i усіх ланок розмірного ланцюга.

Координата середини допуску замикаючої ланки визначається як:

$$K_{зам} = \sum_1^n K_{i зб} + \sum_1^q K_{j зм} ,$$

де $K_{i зб}$, $K_{j зм}$ – координати меж допусків ланок відповідно, що збільшують та що зменшують, беруть зі своїми знаками, тобто збільшують алгебраїчні суми координат.

Відхилення допуску замикаючої ланки отримують:

$$(BB)_{зам} = K_{зам} + 0,5 \sum_1^{q-1} |\delta_i|$$

$$(HB)_{зам} = K_{зам} - 0,5 \sum_1^{q-1} |\delta_i|$$

де $K_{зам}$ – координата середини зі своїм знаком.

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

Максимальне та мінімальне значення замикаючої ланки

$$A_{зам}^{max} = \sum_1^n A_{i зб}^{max} - \sum_1^q A_{j зм}^{min} ;$$

$$A_{зам}^{min} = \sum_1^n A_{i зб}^{min} - \sum_1^q A_{j зм}^{min}$$

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

Верхнє та нижнє відхилення допуску замикаючої ланки

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

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

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

Екстремальний безномінальний метод. Цей метод найпростіший і рекомендується виробництву. У разі застосування

методу визначають $(BB)_{зам}$ і $(HB)_{зам}$;

$$(BB)_{зам} = \sum_{i=1}^n (BB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^q (HB_j)_{зм};$$

$$(HB)_{зам} = \sum_{i=1}^n (HB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^q (BB_j)_{зм};$$

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

Очевидно, що даний метод найзручніший і найпростіший у застосуванні.

Приклад: Зі схеми розрахунку розмірного ланцюга (рис. 3.6.), визначаємо збільшуючі та зменшуючі розміри:

Збільшуючі розміри: l_1 .

Зменшуючі розміри: l_2, l_3, l_4, l_5 .

$$l_1: 35h12=35_{-0,25} \text{ мм}$$

$$l_2: 20H12=20^{+0,21} \text{ мм}$$

$$l_3: 2=2_{-0,01} \text{ мм}$$

$$l_4: 8=8^{+0,05}_{-0,05} \text{ мм}$$

$$l_5: 4h12=4_{-0,12} \text{ мм}$$

$$l_{зам} = \sum_{i=1}^n l_{i зб} - \sum_{j=1}^p l_{j зм}$$

$$l_{зам} = (l_1) - (l_2 + l_3 + l_4 + l_5) = 35 - (20 + 2 + 8 + 4) = 1(\text{мм})$$

1) метод max і min з врахуванням номіналів:

Знайдемо можливі граничні відхилення розмірів замикаючої ланки

$$l_3^{\max} = \sum_{i=1}^n l_{i зб}^{\max} - \sum_{j=1}^p l_{j зм}^{\min} = 35 - (20 + 1,99 + 7,95 + 3,88) = 1,18(\text{мм})$$

$$l_3^{\min} = \sum_{i=1}^n l_{i зб}^{\min} - \sum_{j=1}^p l_{j зм}^{\max} = 34,75 - (20,21 + 2 + 8,05 + 4) = 0,49(\text{мм})$$

Знайдемо верхні і нижні відхилення замикаючої ланки

$$(BO)_3 = l_3^{\max} - l_3 = 1,18 - 1 = +0,18(\text{мм})$$

$$(HO)_3 = l_3^{\min} - l_3 = 0,49 - 1 = -0,51(\text{мм})$$

Звідси робимо висновок, що $l_{зам} = 1_{-0,51}^{+0,18}(\text{мм})$

2) екстремальний безномінальний метод:

Визначаємо верхнє і нижнє відхилення:

$$(BO)_3 = \sum_{i=1}^n (BO_i)_{y6} - \sum_{j=1}^p (HO_j)_{ym} = 0 - (0 + (-0,01) + (-0,05) + (-0,12)) = +0,18(\text{мм})$$

$$(HO)_3 = \sum_{i=1}^n (HO_i)_{y6} - \sum_{j=1}^p (BO_j)_{ym} = (-0,25) - (0,21 + 0 + 0,05 + 0) = -0,51(\text{мм})$$

Звідси робимо висновок, що $l_{зам} = 1_{-0,51}^{+0,18}(\text{мм})$

Висновок: визначено замикаючий розмір та його граничні відхилення: $l_{зам} = 1_{-0,51}^{+0,18}(\text{мм})$

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

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

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.

Розрахунок оберненої задачі точності замикаючої ланки методом рівності квалітетів точності.

Цей метод дає змогу оцінити точність складових елементів з урахуванням їх несумісності з використанням стандартних таблиць допусків квалітетів точності. Будь-який допуск на розмір від 1 до 500 мм визначається виразом

$$\delta = ai,$$

де a – число одиниць допуску, встановлене для кожного квалітету точності, тобто a встановлює зв'язок допуску квалітетом;

i – величина одиниці поля допуску, що пов'язує допуск з номінальними розмірами ланок, мм:

$$i = 0,45\sqrt[3]{L} + 0.01L,$$

L – номінальний розмір, мм.

Виходячи з умов рівності квалітетів усіх ланок розмірного ланцюга маємо $a_1 = a_2 = \dots = a_{m-1} = a_{cp}$.

Тоді на основі

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

отримуємо рівність

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

отриманий результат коректують за табличним значенням a_m беручи найближче.

Таблиця 3.4.

Квалітет	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT14
Число одиниць	7	10	16	25	40	64	100	160	350

Далі з таблиць допусків за отриманим квалітетом точності

знаходять допуски на складові ланки і згідно з посадкою беруть знаки їх відхилень. Унаслідок коректування числа одиниць виникає розузгодженість між допуском замикаючої ланки та сумою допусків інших ланок. Тому одну з ланок вважають *компенсуючою* і допуск для неї визначають за виразом

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

Допуск компенсуючої ланки, точніше її граничні відхилення, можна визначити використавши екстремальний безномінальний метод. Виконавши відповідні дії, можна знайти:

якщо компенсатор є збільшуючою ланкою, то

$$(BB)_{K зб} = \left[(BB)_{зам} - \left(\sum_{1}^{n-1} (BB)_{зб} - \sum_{1}^q (HB)_{зм} \right) \right];$$

$$(HB)_{K зб} = \left[(HB)_{зам} - \left(\sum_{1}^{n-1} (HB)_{зб} - \sum_{1}^q (BB)_{зм} \right) \right];$$

якщо компенсатор є зменшуючою ланкою, то

$$(BB)_{K зм} = - \left[(HB)_{зам} - \left(\sum_{1}^n (HB)_{зб} - \sum_{1}^{q-1} (BB)_{зм} \right) \right];$$

$$(HB)_{K зм} = - \left[(BB)_{зам} - \left(\sum_{1}^n (BB)_{зб} - \sum_{1}^{q-1} (HB)_{зм} \right) \right].$$

Приклад: Розв'яжемо попереднє завдання, використовуючи екстремальний безномінальний метод, коли задано $L_{зам} = 1 \pm 0,2$, розміри відповідних ланок $l_1 = 35$ мм, $l_2 = 20$ мм, $l_3 = 2$ мм, $l_4 = 8$ мм, $l_5 = 4$ мм.

Визначаємо всі розміри, які ввійдуть до розмірного ланцюга (рис. 3.5.). Розмірний ланцюг повинен бути замкнутим, в одному розмірному ланцюгу може бути тільки один замикаюча ланка. Складаємо схему розрахунку розмірного ланцюга (рис. 3.6.). Розмірний ланцюг складають відповідні ланки:

- збільшуючі ($l_1 = 35$ мм);

- зменшуючі ($l_2 = 20 \text{ мм}$, $l_3 = 2 \text{ мм}$, $l_4 = 8 \text{ мм}$, $l_5 = 4 \text{ мм}$).

Далі визначимо допуски на ланки і компенсатор, який є зменшуючою ланкою (l_5).

Величина одиниці поля допуску і для кожної ланки: $i(l_1) = 1,82 \text{ мм}$; $i(l_2) = 1,42 \text{ мм}$; $i(l_3) = 0,587 \text{ мм}$; $i(l_4) = 0,98 \text{ мм}$; $i(l_5) = 0,754 \text{ мм}$.

Відповідно середнє число одиниць

$$a_{cp} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,82 + 1,42 + 0,587 + 0,98 + 0,754} = 71,93.$$

За табл. 3.4 беремо IT10, де $a_T = 64$. За таблицею допусків знаходимо допуски на складові елементи, приймаємо посадки H10 і h 10: $35h10 = 35_{-0,1} \text{ мм}$, $20H10 = 20^{+0,084} \text{ мм}$, $2h10 = 2_{-0,04} \text{ мм}$, $8 = 8_{-0,029}^{+0,029} \text{ мм}$.

Знайдемо відхилення допуску компенсатора

$$(BB)_{K_{3M}} = -[(-0,2) - ((-0,1) - (0,084 + 0 + 0,029))] = -0,013;$$

$$(HB)_{K_{3M}} = -[(+0,2) - ((0) - (0 - 0,04 - 0,029))] = -0,131.$$

Таким чином, знайдено компенсуючу ланку та її точність: $4_{-0,131}^{-0,013}$.

3.3.9. Забезпечення параметричної точності елементів приладів

У приладобудуванні велике значення має параметрична точність, так як сучасні прилади мають у своїй конструкції різнобічні функціональні та перетворюючі елементи, що працюють на базі різних фізичних параметрів: механічних (жорсткість пружини, мембран, сильфонів; точність передачі зубчастих редукторів тощо); електричних (точність опору резисторів та потенціометрів, ємності конденсаторів, індуктивності котушок); магнітних, оптичних та інших характеристик.

Усі ці фізичні параметри елементів приладів є похідними цілого ряду первісних характеристик, з якими вони знаходяться у визначеній

функціональній залежності, що визначається рівняннями зв'язку або передаточними функціями

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

де Q_0 – номінальне значення вихідного фізичного параметру; $q_1; q_2; \dots; q_n$ – первісні. Що визначають його характеристики у своєму номінальному (розрахунковому) значенні.

Через похибки виготовлення первісні характеристики мають свої похибки Δq_i , які обмежують на виробництві допусками δ_i .

Тоді реальна величина фізичного параметру має вигляд

$$Q = \varphi[(q_1 + \Delta q_1) \dots (q_n + \Delta q_n)] = \varphi(q_i + \Delta q_i),$$

де $Q = Q_0 + \Delta Q$, а $\Delta Q = Q - Q_0$ – є похибка виготовлення вихідного фізичного параметру.

Для знаходження такої похибки використовують ступеневий диференціальний ряд Тейлора для ряду незалежних змінних, з якого знаходять таку похибку:

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

Тоді з похибка вихідного параметра дорівнює

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

де $\dot{a}_i$ - часткові похідні (коефіцієнти впливу) є часткові передаточні функції від кожної первісної характеристики q_i до вихідної Q_0 .

При вирішенні задачі забезпечення параметричної точності елементів приладів може вирішуватися *пряма задача* (коли задана точність первісних характеристик та по ним визначається точність вихідного фізичного параметру) та *обернене задача* (коли задається точність вихідного параметру та необхідно визначити точність первісних характеристик).

Розглянемо пряму задачу. Так як передаточні функції між фізичним параметром та вхідними характеристиками зазвичай у техніці задаються дробовими функціональними ступеневими залежностями типу $Q_0 = b^\alpha c^\beta / d^\gamma e^\psi$, то первісні характеристики поділяються на збільшуючи та зменшуючи. Збільшуючи – це ті, які стоять у чисельнику та при збільшенні збільшують Q_0 та мають $(+a_i)$, а зменшуючи – ті, що стоять у знаменнику та мають $(-a_i)$.

Точність на виробництві задається допусками $\Delta q_i \rightarrow \delta_i$ та вони мають свої відхилення: $(BO) \rightarrow (+)$ або $(HO) \rightarrow (+)$.

Таку задачу розв'язують двома методами:

1. Метод часткового диференціювання

На виробництві задається залежність

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

Задані δ_i своїми $(BO)_i$ та $(HO)_i$.

Необхідно знайти δ_Q та його $(BO)_Q$ і $(HO)_Q$.

З урахуванням $(+a_i)$, $(-a_i)$ та $(BO)_i$ і $(HO)_i$ отримуємо:

$$\begin{aligned} (BO)_Q &= \sum_{i=1}^m \left(+\dot{a}_i \right) (BO)_i + \sum_{j=1}^p \left(-\dot{a}_j \right) (HO)_j, \\ (HO)_Q &= \sum_{i=1}^m \left(+\dot{a}_i \right) (HO)_i + \sum_{j=1}^p \left(-\dot{a}_j \right) (BO)_j. \end{aligned}$$

Приклад: Визначити можливий розподіл жорсткості Z (Н/мм) гвинтової пружини пневмодреслю за відомими допусками вхідних величин.

Жорсткість такої пружини дорівнює

$$Z_0 = \frac{P}{h} = \frac{Gd^4}{8D^3n} \text{ (Н/мм)},$$

де G — модуль пружності другого роду на кручення має $\delta_G \rightarrow (BO)_G$, d — діаметр дроту пружини з допуском $\delta_d \rightarrow (HO)_d$; D — середній діаметр пружини з допуском $\delta_D \rightarrow (BO)_D$, n — число витків пружини з допуском $\delta_n \rightarrow (HO)_n$ (на долю витка).

Тоді знаходимо відхилення допуску на Z

$$(BO)_Z = \left[\frac{\partial Z_0}{\partial G} (BO)_G + \left(-\frac{\partial Z_0}{\partial h} (-HO)_n \right) \right],$$

$$(HO)_Z = \left[-\frac{\partial Z_0}{\partial d} (HO)_d + \left(-\frac{\partial Z_0}{\partial D} (+BO)_D \right) \right].$$

Підставляємо значення, диференціюємо та знаходимо δ_Z .

2. Метод відносної точності

Попередній метод є наглядним, але сильно нагромадженим розрахунками по диференціюванню.

Для заданих ступеневих функцій $Q_0 = \prod (q_i^{\alpha_i})$, де α_i - показник ступеню при первісної характеристики, визначаючій ступень впливу її на вихідний параметр Q_0 , який має свій знак. Якщо q_i стоїть у чисельнику, то в них $(+\alpha_i)$, а якщо — у знаменнику, то $(-\alpha_j)$, як зменьшуючий фактор. Показник ступеню може бути й дробовим, а також $(\alpha < 1)$, що вказує на малу кореляцію q_i та Q_0 .

У формалізованому вигляді часткового диференціювання можна замінити двома арифметичними діями:

1 – поділ функції на q_i ;

2 – множення функції на α_i , тобто

$$\left(\frac{\partial \prod q_i^{\alpha_i}}{\partial q_i} \right) \rightarrow \left(\frac{\partial \prod q_i^{\alpha_i}}{\partial q_i} \right) \times (\alpha_i) = \alpha_i \frac{Q_0}{q_i}.$$

Тоді вираз (6.5) з диференціюванням можна замінити на метод відносної точності характеристика

$$\delta_Q = \sum_{i=1}^n a_i \delta_i = \sum_{i=1}^n \left(\alpha_i \frac{Q_0}{q_i} \right) \delta_i = Q_0 \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i}. \quad (6.4)$$

З врахуванням можливих варіантів знаків (+) та (-) при показниках ступеню α_i та відхиленнях (BO) та (HO) і допусків δ_i отримуємо рівняння розв'язання задачі:

$$\begin{aligned} (BO)_Q &= Q_0 \sum_{i=1}^m \left(+ a_i \right) (BO)_i + \sum_{j=1}^p \left(- a_j \right) (HO)_j, \\ (HO)_Q &= Q_0 \sum_{i=1}^m \left(+ a_i \right) (HO)_i + \sum_{j=1}^p \left(- a_j \right) (BO)_j. \end{aligned}$$

Приклад: попередній приклад за жорсткістю пружини при розв'язанні поданим методом буде мати вигляд:

$$Z_0 = G^1 d^4 8^{-1} D^{-3} n^{-1}.$$

Відхилення допусків на Z буде:

$$\begin{aligned} (BO)_Z &= Z_0 \left((+\alpha_G) \frac{(BO)_G}{G} + (-\alpha_n) \frac{(HO)_n}{n} \right), \\ (HO)_Z &= Z_0 \left((+\alpha_d) \frac{(-HO)_d}{d} + (-\alpha_D) \frac{(BO)_D}{D} \right). \end{aligned}$$

Розв'язання значно спрощується.

Література

1. Сыроватченко В.П. Справочник технолога приборостроителя [Текст]: Підручн. /під ред. В.П. Сыроватченко/ - М.: Машиностроение, 1980. – 606 с.
2. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ. Выпуски на все виды резания [Текст]: М.: Машгиз, 1959-1990.
3. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. [Текст]: Підручн. /А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков, М.А. Калинин/: М.: Машиностроение, 1976.- 288 с.
4. Румбешта В. О. Основи технології складання приладів [Текст]: Підручн. / В. О. Румбешта / – К.: Інститут системних досліджень освіти України, 1993. – 301 с.
5. Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту [Текст]: Навч. Посібник /Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О./ – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 128 с.
6. Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. Технологія приладобудування: вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту [Текст]: Методичні вказівки /Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О./ – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 52 с.

Додаток 1. Маршрутна карта обробки деталі «Плита».

ГОСТ 3.1404-86 Форма 1																																																																				
Дир.л.																																																																				
Взам.																																																																				
Подп.																																																																				
<table border="1" style="width:100%"> <tr> <td colspan="10">НФ.0214.1.00148</td> <td colspan="2">2</td> <td colspan="3">1</td> </tr> </table>															НФ.0214.1.00148										2		1																																									
НФ.0214.1.00148										2		1																																																								
Разроб.		Никитенко				Кафедра производств		ЭПБ.2104.1702.002		НФ.5014.1.00228																																																										
Проберил		Виниченко				прибороб																																																														
Утв.продил		Вислюх																																																																		
Т.контр.																																																																				
Н.контр.																																																																				
Плита																																																																				
<table border="1" style="width:100%"> <tr> <td>М01</td> <td>Код</td> <td>ЕВ</td> <td>МЛ</td> <td>ЕН</td> <td>Н.расх</td> <td>КИМ</td> <td>Код загот.</td> <td colspan="3">Профиль и размеры</td> <td>КЛ</td> <td>МЭ</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>М02</td> <td></td> <td>166</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3">А x Н x L</td> <td>1</td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>															М01	Код	ЕВ	МЛ	ЕН	Н.расх	КИМ	Код загот.	Профиль и размеры			КЛ	МЭ			М02		166		1				А x Н x L			1																											
М01	Код	ЕВ	МЛ	ЕН	Н.расх	КИМ	Код загот.	Профиль и размеры			КЛ	МЭ																																																								
М02		166		1				А x Н x L			1																																																									
Цех Уч. РМ Упер. Код. наименование операции																																																																				
Обозначение документа																																																																				
<table border="1" style="width:100%"> <tr> <td>А</td> <td>Цех</td> <td>Уч.</td> <td>РМ</td> <td>Упер.</td> <td>Код.</td> <td>наименование операции</td> <td>ГМ</td> <td>Проф.</td> <td>Р</td> <td>Ч</td> <td>КР</td> <td>КИМ</td> <td>ЕН</td> <td>ОП</td> <td>Конт.</td> <td>П.з.</td> <td>Ишт.</td> </tr> <tr> <td>Б</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Р</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>															А	Цех	Уч.	РМ	Упер.	Код.	наименование операции	ГМ	Проф.	Р	Ч	КР	КИМ	ЕН	ОП	Конт.	П.з.	Ишт.	Б																		Р																	
А	Цех	Уч.	РМ	Упер.	Код.	наименование операции	ГМ	Проф.	Р	Ч	КР	КИМ	ЕН	ОП	Конт.	П.з.	Ишт.																																																			
Б																																																																				
Р																																																																				
НФ.201.00151																																																																				
15474 2-4																																																																				
14,14																																																																				
2,5																																																																				
0,5																																																																				
1,14																																																																				
28,01																																																																				
2,5																																																																				
1,5																																																																				
2																																																																				
КТП																																																																				
Карта технологического процесса																																																																				

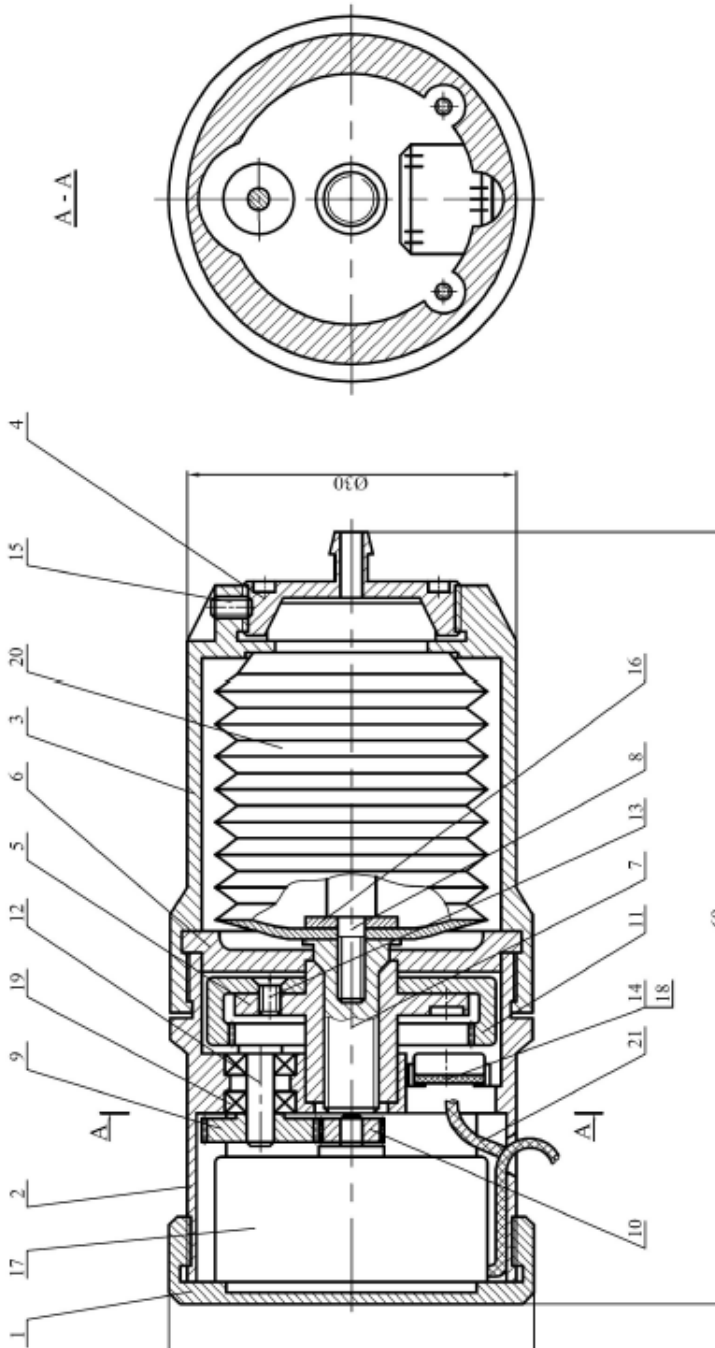
Додаток 1. Продовження.

ГОСТ 3.1404-86 Форма 1а									
Додл.									
Взам.									
Подп.									
								НФ.0214.1.0014В	2
								ЗПБ.2104.1702.002	НФ.5014.1.0022В
А	Цех	Уч.	РМ	Испр.	Код.	наименование операции	Обозначение документа		
Б	Код.	наименование оборудования	СМ	Проф.	Р	У	КР	КРИД	ЕН
Р			П	И	О	или	В	С	П
Р 01						100		5	1
								0,66	254,6
02									78,8
03	З.	Сверлить отв.	d=16	по программе					2
04	Сверла	2300-0493	0	Р1В	ГОСТ 10902-77				0,16В
05						16	20	8	1
								0,15	796
06									40
07	1	2	015	С/ЕСАРНАЯ					
08	Верстак	глесарный							6
09	1.	Притупить острые кромки и снять заусенцы						1,5	4,5
10	Напильник	2820-0001	ГОСТ 1465-80						
11									
12	1	4	1	020	КОНТРОЛЬ				
13						12920	2-5		6
14	1.	Контролировать размеры по чертежу						1	5
15	Калибр-пробка	В133-0926	Н12	П-ПР	ГОСТ 14810-69; Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,05	ГОСТ 166-89			
16									
17									
Карта технологического процесса									3

[illegible]

Додаток 4. Карта ескізів для операції складання.

ГОСТ 3.1105-84		Форма 7	
Діал.	Взам.	Подл.	
Кафедра виробництва приборів		НФ.6014.1.00188	1 1
Микрокомпрессор		НФ.2014.1.00189	
Разроб.	Иванов		
Проберил			
Утвердил	Петров		
Т. контр.			
Н. контр.			



КЭ	Карта эскизов	11
----	---------------	----

Додаток 5. Маршрутна карта складання.

Дубл.

Взм.

Подп.

Гост 3.1118-82

Форма 2

02188.00191

2

1

Разраб.	Проверил	Утвердил	Т.контр.	Н.контр.	Кафедра	пригодности	прибор	ДП.ПБ.4.203.1702.001	10188.00192
А	Цех	Уч.	РМ	Упер.	Код	наименование	операции	Ультразвуковой прибор	0
Б	Код	наименование	детали	сб.	единицы	или	материала	Обозначение документа	п.з
К/М	Наименование	детали	сб.	единицы	или	материала	Обозначение	код	п.з
А 01	1	2	1	005	КОМПЛЕКТОВАННАЯ	30188.00215; 48188.00212; 42188.00211; 60110.00193	19293	1-4	2.5
Б 02	Верстак	слесарный							15
03									
04									
А 05	1	3	2	010	8800 СБОРКА	60188.00196			
Б 06						18466	2-6		2.5
07									49.5
08									
А 09	1	3	1	015	8800 СБОРКА	60188.00195			
Б 10						18466	2-6		2.5
11									21.6
12									
А 13	1	3	3	020	8800 СБОРКА	60188.00197			
Б 14	Верстак	слесарный				18466	2-6		3
15									5.4
16									
МК	Маршрутная карта								5

Додаток 5. Продовження.

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1б												
Дубл.	Взм.	Подп.										
			02.188.00191									
			2									
			ДП.164.203.1702.001 10188.00192									
А	Цех	Уч. РМ	Ипер.	Кад.	наименование операции	Обозначение документа						
Б	Кад.	наименование оборудования	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ДП	Кшт.	Лз.
К/М	Наименование детали, со. единицы или материала		Обозначение код									
А 01	2	3	025	601.00149								
Б 02	Верстак слесарный											
03												
04												
А 05	1	3	12	030	0600	ИСПЫТАНИЯ						
Б 06	Стенд испытательный											
07	12920 2-5											
08												
А 09	1	035		0830	УПАКОВЫВАНИЕ							
Б 10	60108.00151											
11	2.5											
12												
13												
14												
15												
16												
17												
МК	Маршрутная карта											
6												

Додаток 6. Операційна карта складання.

ГОСТ 3.1118-82 Форма 2									
Дубл.									
Взм.									
Подп.									
								10188.00192	1
Разраб.	Иванов А.А.								
Проверил	Романов А.В.								
Утвердил									
Т.контр.									
Н.контр.									
А	Цех Уч. РМ	Упер.	Код. наименование операции						
Б	Код. наименование детали	ГМ	Пор. Р	УТ	КР	КАИД	ЕН	ОП	Кшм.
К/М	Наименование детали, со. единицы или материала								
А 01	1 3 7 045 8800 СБОРКА								
Б 02	Пресс ручной рычажный								
О 03	1. Запрессовать три втулки поз. 16 в плату нижнюю поз. 6								
О 04									
О 05	2. Установить на плату нижнюю поз. 6 три стойки поз. 7 и закрепить их винтами поз. 29								
Т 06	Отвертка 7810-0921								
О 07									
О 08	3. Ввинтить четыре шпонга поз. 22 в плату нижнюю поз. 6								
Т 09	Ключ эксцентриковый								
О 10									
О 11	4. Установить на шпонга поз. 22 микровыключатели поз. 2 и 24, предварительно припаяв к								
О 12	микрорелеключателям 30 проводников поз. 37								
Т 13	Электропаяльник ЭПСИ-60/220; Пинцет								
М 14	Припой ПОС-40 ГОСТ 21930-76								
О 15	Флюс марки КЗ								
О 16									
МК/ОК									
Операционная карта									19

Додаток 7. Операційна карта контролю деталі.

ГОСТ 3.1404-86										Форма 3	
Дубл.	Взам.	Побл.									
			НФ.1014.1.00228							1	1
Разраб.	Никитенко			Кафедра производства приборов		ЭПБ.2104.1702.002		НФ.601.00234			
Проверил	Винниченко										
Утвердил	Вислюх										
Т.контр.											
Н.контр.											
Наименование операции			Материал		Твердость		ЕВ	МД	Профиль и размеры		КОИД
КОНТРОЛЬ							166		А x Н x L		МЗ
Оборудование, устройство ЧПУ			Обозначение программы		Т _а	Т _б	Т _в	Тип		ГОЖ	
Профилограф: Стол контроля					1.5	1.5		3			
P			ПМ		0 или B	L	t	i	S	n	y
0 01	1. Контролировать размер $\phi 30H9$										
T 02	Калибр-скоба 8113-0122 НВ П-ПР ГОСТ 18362-73										
03											
0 04	2. Контролировать размер $\phi 20H10$										
T 05	Калибр-скоба 8113-0122 Н9 ГОСТ 18362-73										
06											
0 07	3. Контролировать размер $\phi 15H8$										
T 08	Калибр-пробка 8133-0929 Н7 П-ПР ГОСТ 14810-69										
09											
0 10	4. Проверить шероховатость поверхностей согласно инструкции										
11											
12											
13											
OK	Операционная карта										6

Додаток 8. Операційна карта контролю виробу.

[illegible]