

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ З'ЄДНАННЯ ТА СКЛАДАННЯ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
спеціальності G9 (131) Прикладна механіка

Укладачі: В. С. Парненко, Є. В. Корбут

Електронне мережеве навчальне видання

Київ

КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

2026

УДК 621.757 (65.011.56)
П18

Укладачі: *Парненко Валерія Сергіївна*, к. т. н., доцент
Корбут Євген Валентинович, к. т. н., доцент

Рецензент *Кореньков Володимир Миколайович*, к. т. н., доцент
Кафедра технології машинобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Шевченко Олександр Віталійович*, д. т. н., професор

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 03.04.2026 р.)
за поданням вченої ради Навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту
(протокол № 9 від 30.03.2026 р.)*

П18 **Технологічні процеси з'єднання та складання** [Електронний ресурс] : курс лекцій : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спец. G9 (131) Прикладна механіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. С. Парненко, Є. В. Корбут. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 260 с.

У навчальному посібнику "Технологічні процеси з'єднання та складання" викладено основні принципи та сучасні методи виконання складальних процесів у машинобудуванні. Посібник містить структурований матеріал, який охоплює питання складання нерухомих і рухомих з'єднань, контроль точності виробів, проєктування для ручного, автоматичного та роботизованого складання. Приділено увагу технологічним схемам складання, нормуванню трудомісткості, техніко-економічним критеріям оцінювання, а також методам підвищення продуктивності праці. Наведено рекомендації з проєктування продукції для різних умов складання та автоматизації виробничих процесів. Запропоновано практичні підходи до проєктування деталей і вибору обладнання для складальних робіт. Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю G9 (131) Прикладна механіка.

УДК 621.757 (65.011.56)

Реєстр. № НП 25/26–277. Обсяг 11,8 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	3
ВСТУП.....	6
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН.....	9
Лекція №1. ВСТУП ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ.....	11
1.1 Роль складання у процесі виробництва виробів.....	12
1.2 Функціональне призначення машини і технічні умови у процесі розробки технологічних процесів складання.....	20
Лекція №2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ І НОРМ ТОЧНОСТІ НА ВИРІБ.....	24
2.1 Формування технічних вимог і норм точності виробів.....	25
2.2 Візуалізація процесу складання за допомогою технологічних схем.....	26
2.3 Оцінка технологічності складальних одиниць.....	31
Лекція №3. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ЕКОНОМІКА СКЛАДАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ.....	38
3.1 Тип виробництва і організаційні форми.....	39
3.2 Нормування та трудомісткість складальних робіт.....	48
3.3 Критерії техніко-економічної ефективності.....	49
3.4 Засоби підвищення продуктивності праці.....	55
Лекція №4. ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ.....	60
4.1 Точність складання і методи її досягнення.....	60
4.2 Основи розрахунку складальних розмірних ланцюгів.....	67
Лекція №5. КЛАСИФІКАЦІЯ З'ЄДНАНЬ В МАШИНОБУДУВАННІ.....	74
5.1 Варіанти класифікації з'єднань за різними критеріями.....	75
5.2 Класифікація з'єднань за фізичним принципом дії.....	76
5.2.1 З'єднання геометричним замиканням.....	76
5.2.2 З'єднання з пружними деформаціями.....	77
5.2.3 З'єднання, що діють за рахунок взаємодії полів.....	80
5.2.4 З'єднання, що діють за рахунок молекулярної взаємодії.....	81
5.3 Класифікація з'єднань за принципом реалізації.....	81
Лекція №6. ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ З'ЄДНАНЬ.....	84
6.1 Похибки складальних процесів.....	85
6.2 Види контролю.....	85
6.3 Типові схеми контролю з'єднань та геометричних параметрів виробів.....	90
Лекція №7. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ НЕРУХОМИХ З'ЄДНАНЬ.....	98
7.1 Призначення та технологічні особливості нерухомих з'єднань.....	98
7.2 З'єднання деталей з гарантованим натягом.....	99

7.3	З'єднання деталей пайкою.....	101
7.4	З'єднання деталей зварюванням	105
Лекція №8. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ НЕРУХОМИХ З'ЄДНАНЬ (продовження)		113
8.1	Заклепки і заклепочні з'єднання.....	113
8.2	З'єднання деталей склеюванням	117
8.3	З'єднання заформовкою	119
Лекція №9. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ.....		123
9.1	Різьбові з'єднання та їх складання.....	124
9.2	Складання шпонково–шліцьових з'єднань	127
9.3	Складання шліцьових з'єднань	132
Лекція №10. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ (продовження).....		140
10.1	Складання підшипників ковзання	141
10.2	Складання рознімних підшипників ковзання.....	145
10.3	Суцільнопресовані підшипники	148
10.4	Складання підшипників рідинного тертя	148
10.5	Складання підшипників кочення.....	151
10.6	Ущільнення підшипників	159
Лекція №11. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ (продовження).....		163
11.1	Зубчасті і черв'ячні передачі та їх складання	163
11.2	Рухомі конусні з'єднання.....	169
11.3	Призначення та складання насосів.....	170
11.4	Складання поршневої групи	174
11.5	Складання ланцюгових передач	176
11.6	Складання кулісного механізму.....	179
11.7	Складання храпового механізму.....	181
11.8	Узагальнення інформації по методам контролю точності машини та її вузлів	184
Лекція №12. ВИПРОБУВАННЯ ТА ЗАХИСТ СКЛАДАЛЬНИХ ВИРОБІВ		188
12.1	Випробування складальних виробів.....	188
12.2	Балансування механізмів.....	192
12.3	Одиниці вимірювання дисбалансів та основні поняття технології балансування.....	193
12.4	Структура технологічного процесу балансування.....	195
12.5	Пристрої та верстати для балансування.....	196
12.6	Способи усунення дисбалансів ротора	200
12.7	Точність балансування.....	201
12.8	Фарбування виробів	203
12.9	Сушіння лакофарбових поверхонь виробів.....	205
Лекція №13. КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ ДЛЯ РУЧНОГО СКЛАДАННЯ.....		207
13.1	Конструкція для складання та роль DFA у сучасному виробництві.....	207
13.2	Історія виникнення потреби в дизайні для виробництва та складання.....	208
13.3	Важливість дизайну для складання	213

13.4	DFA та DFM.....	214	
13.5	Загальні вказівки щодо проектування для ручного складання.....	217	
13.6	Вказівки щодо проектування деталей	218	
13.7	Інструкції з проектування для складання та кріплення	221	
Лекція №14. КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО АВТОМАТИЧНОГО ТА РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ			230
14.1	Дизайн виробу з урахуванням автоматизованого подавання та орієнтації деталей	230	
14.2	Загальні правила проектування виробу для автоматизації складання	232	
14.3	Конструкція деталей для подачі та орієнтування	240	
14.4	Правила проектування для високошвидкісного автоматичного складання	245	
Лекція №15. КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ.....			248
15.1	Роботизоване складання у виробничих системах	248	
15.2	Перспективні напрями розвитку	251	
15.3	Системи роботизованого складання.....	252	
15.4	Правила проектування виробів для роботизованих систем складання.....	254	

ВСТУП

У сучасному промисловому виробництві процеси з'єднання та складання посідають центральне місце у створенні готових виробів — від дрібних механізмів до складних машинобудівних систем. Саме на стадії складання реалізується основна мета всього технологічного процесу: поєднання окремих деталей і вузлів у функціонально завершений виріб, здатний виконувати задані технічні завдання. Якість, точність і довговічність готового продукту значною мірою залежать від рівня організації складальних робіт, досконалості технологічних методів з'єднання, вибору раціональних схем контролю та регулювання.

Технологічні процеси з'єднання та складання охоплюють широкий спектр операцій — від ручного або механізованого монтажу до повністю автоматизованих роботизованих систем. У сучасному виробництві зростає роль високоточних і надійних способів з'єднання: зварювання, пайки, склеювання, заклепкових і різьбових з'єднань, а також інноваційних методів, пов'язаних із використанням адитивних технологій. Ефективне поєднання традиційних методів складання з цифровими технологіями моделювання, віртуальними випробуваннями та автоматизованими системами контролю дає змогу значно підвищити якість виробництва і скоротити терміни виготовлення.

Метою навчального посібника «Технологічні процеси з'єднання та складання» є формування системного уявлення про закономірності, структуру й особливості процесів складання у машинобудуванні, а також про методи забезпечення точності та надійності при конструюванні й виготовленні технічних систем. Матеріал посібника орієнтований на студентів технічних спеціальностей, які прагнуть поглибити свої знання з питань організації й оптимізації складальних процесів.

У першій частині посібника розглядаються загальні положення щодо ролі складання у виробничому циклі, функціонального призначення машин і

технічних вимог, які визначають вибір технологічних схем. Висвітлено принципи розробки технологічних процесів складання, методи оцінки технологічності виробів і підходи до створення технологічних маршрутів.

Друга частина присвячена класифікації з'єднань у машинобудуванні за фізичним принципом дії, умовами експлуатації та способами реалізації. Особливу увагу приділено нерухомим і рухомим з'єднанням, особливостям їх складання та методам контролю точності. Наведено узагальнені рекомендації щодо вибору оптимального способу з'єднання залежно від функціонального призначення виробу, умов роботи та вимог до надійності.

У наступних розділах детально розглянуто питання нормування та організації складальних процесів, визначення трудомісткості, розрахунку розмірних ланцюгів, а також методів підвищення продуктивності праці. Особливий акцент зроблено на критеріях техніко-економічної ефективності складальних операцій і на підходах до їх оптимізації.

Окрема частина посібника присвячена методам контролю точності з'єднань, аналізу похибок і засобам їх усунення. Наведено типові схеми контролю геометричних параметрів, принципи застосування вимірювальних інструментів, а також способи випробувань і балансування готових механізмів.

Важливим напрямом сучасного машинобудування є дизайн для складання (Design for Assembly, DFA) та дизайн для виробництва (Design for Manufacturing, DFM). У посібнику розглядаються основи цих концепцій, історія їх розвитку, основні принципи проектування деталей і вузлів із урахуванням технологічних можливостей виробництва. Розкрито особливості проектування для ручного складання, а також вимоги до конструкцій, призначених для автоматизованих і роботизованих систем.

Значну увагу приділено питанням інтеграції робототехнічних систем складання у сучасні виробничі процеси. Описано типові системи роботизованого складання, їхні переваги, принципи побудови та напрями розвитку. Розглянуто правила проектування виробів для автоматизованого складання,

конструкційні рішення, що забезпечують точність, повторюваність і мінімізацію втручання людини.

Посібник побудований таким чином, щоб забезпечити послідовне засвоєння матеріалу — від базових понять до практичних методів аналізу, контролю та оптимізації процесів з'єднання. Кожна лекція має логічну структуру, що охоплює як теоретичні основи, так і приклади з реального виробництва.

У підготовці посібника враховано сучасні науково-технічні досягнення у сфері машинобудування, тенденції розвитку автоматизованих виробничих систем, стандарти ISO та підходи, прийняті у провідних технічних університетах світу.

Таким чином, навчальний посібник «Технологічні процеси з'єднання та складання» покликаний стати практичним інструментом для формування у студентів системного мислення щодо складання машин, розуміння взаємозв'язків між конструкцією, технологією, економічною ефективністю та якістю. Він також сприятиме розвитку навичок інженерного аналізу, критичного мислення та готовності працювати в умовах інноваційного виробництва.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

Тема 1. СКЛАДАЛЬНІ ПРОЦЕСИ В МАШИНОБУДУВАННІ

У темі розглядається місце складання у загальній структурі процесу виготовлення машин і приладів. Аналізується службове призначення виробів, формуються технічні вимоги та норми точності, визначаються основні принципи побудови технологічних схем складання. Висвітлюються питання технологічності конструкції складальних одиниць, типів виробництва й організаційних форм складального процесу. Окрему увагу приділено нормуванню та визначенню трудомісткості складання, а також оцінюванню техніко-економічної ефективності різних варіантів складання. Розглядаються сучасні засоби підвищення продуктивності праці на складальних дільницях.

Основні питання: місце складання в процесі виготовлення виробів, службове призначення та технічні вимоги до машини, аналіз або укладання технічних вимог і норм точності на виріб, технологічні схеми складання, вимоги до технологічності складальних одиниць, тип виробництва і організаційні форми процесу складання, нормування та визначення трудомісткості складання, критерії оцінювання техніко-економічної ефективності складання, вибір засобів поліпшення праці та підвищення продуктивності.

Тема 2. СКЛАДАЛЬНІ РОЗМІРНІ ЛАНЦЮГИ

Тема присвячена поняттю точності складання та методам її досягнення. Розглядаються принципи побудови та розрахунку складальних розмірних ланцюгів, а також методи аналізу впливу похибок на якість готових виробів.

Основні питання: точність складання і методи її досягнення, методи розрахунку складальних розмірних ланцюгів.

Тема 3. УТВОРЕННЯ З'ЄДНАНЬ В ПРОЦЕСІ СКЛАДАННЯ ВИРОБУ

У темі класифікуються основні види з'єднань, що утворюються під час складання виробів. Подається їхня характеристика за фізичним принципом дії: геометричне замикання, деформаційні, молекулярні та польові взаємодії. Висвітлюються особливості реалізації різних типів з'єднань у машинобудівній практиці.

Основні питання: класифікація з'єднань, з'єднання, що діють за рахунок геометричного замикання, з'єднання з деталями, що деформуються, з'єднання, що діють за рахунок пружних деформацій, з'єднання, що діють за рахунок взаємодії полів, з'єднання, що діють за рахунок молекулярної взаємодії, варіанти реалізації фізичного принципу дії з'єднання.

Тема 4. ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ З'ЄДНАНЬ

Розглядаються типові похибки складальних процесів і методи їх усунення. Пояснюються види та схеми контролю точності, способи перевірки геометричних параметрів і якості з'єднань. Висвітлюються особливості складання нерухомих і рухомих з'єднань, а також порядок контролю окремих вузлів.

Основні питання: похибки складальних процесів, види контролю, методи контролю точності виробів та вузлів, типові схеми контролю з'єднань, складання та контроль нерухомих з'єднань, складання та контроль рухомих з'єднань, складання окремих вузлів, узагальнення інформації щодо методів контролю точності машин та вузлів.

Тема 5. ВИПРОБУВАННЯ ТА ЗАХИСТ СКЛАДАЛЬНИХ ВИРОБІВ

У темі розглядаються процедури балансування механізмів, методи фарбування виробів та технологія сушіння лакофарбових покриттів. Пояснюється значення цих операцій для забезпечення надійності, довговічності та естетичності готових машин.

Основні питання: балансування механізмів, фарбування виробів, сушіння лакофарбових поверхонь.

Тема 6. ПРОЄКТУВАННЯ ДЛЯ РУЧНОГО СКЛАДАННЯ

Описуються основні принципи та вказівки щодо проєктування виробів, призначених для ручного складання. Розглядаються системи класифікації, типові помилки проєктування, способи запобігання застряганню деталей та рекомендації щодо конструктивних рішень.

Основні питання: загальні вказівки щодо проєктування, системи класифікації, запобігання застряганню під час складання, рекомендації щодо проєктування, види методів ручного складання.

Тема 7. МЕХАНІЗАЦІЯ І АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ

Тема присвячена засобам механізації та автоматизації складальних процесів. Розглядається обладнання, оснащення й інструменти для ручного та механізованого складання, спеціальні пристосування, стенди та допоміжне обладнання. Подаються основи побудови автоматизованих систем складання.

Основні питання: обладнання, оснащення та інструмент, складальні пристосування і стенди, допоміжне обладнання, автоматизація складальних робіт.

Тема 8. ПРОЄКТУВАННЯ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО АВТОМАТИЧНОГО СКЛАДАННЯ

Розглядаються конструктивні принципи, що забезпечують ефективність високошвидкісного автоматичного складання. Аналізуються особливості подачі, орієнтування та позиціонування деталей, а також узагальнено подано правила проєктування для таких процесів.

Основні питання: конструкція деталей для високошвидкісної подачі та орієнтування, високошвидкісне автоматичне складання, загальні правила проєктування виробів для високошвидкісного складання, підсумок правил проєктування для високошвидкісного складання.

Тема 9. ПРОЄКТУВАННЯ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ

Тема знайомить із принципами створення роботизованих систем складання, вимогами до виробів, які підлягають автоматичній обробці, та особливостями технологічних процесів у таких системах.

Основні питання: особливості розробки технологічних процесів роботизованого складання, системи роботизованого складання, підсумкові правила проєктування для роботизованих систем.

Лекція №1. ВСТУП ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

Основні питання, що розглядаються у лекції:

- Роль складання у виробничому процесі машинобудування;
- Місце складальних операцій у загальній структурі технологічного процесу;
- Нормативно-технічна база, що регламентує точність, якість і безпеку складальних процесів (ДСТУ, ISO, ГОСТ);
- Визначення та структура технологічного процесу складання: операція, перехід, прийом, встановлення, робочий і допоміжний хід;
- Класифікація виробів: деталь, вузол, складальна одиниця, агрегат, комплект, комплекс;
- Види складання за об'єктом і за етапами виконання: вузлове, загальне, попереднє, проміжне, остаточне;
- Методи створення з'єднань: слюсарне, монтажне, електромонтажне, зварювання, паяння, клепаання, склеювання;
- Вплив типу виробництва (одиничне, серійне, масове) на організацію складальних процесів;
- Структура та організація складальних операцій у машинобудуванні;
- Поняття функціонального призначення машини: визначення, класифікація, принципи аналізу;
- Технічні умови як документ, що відображає вимоги до виробу, його експлуатаційні характеристики, безпеку й якість;
- Основні розділи технічних умов: технічні вимоги, правила приймання, методи контролю, вимоги безпеки, екологічні норми;
- Критерії якості машин і механізмів: фізико-механічні, експлуатаційні, надійнісні, конструктивні та ергономічні показники.

Ключові слова: складання, технологічний процес, операція, перехід, прийом, встановлення, точність складання, технічні умови (ТУ), функціональне призначення машини, складальна одиниця, вузол, агрегат, комплекс, комплект, види складання, слюсарне складання, монтаж, нероз'ємні з'єднання, серійне виробництво, масове виробництво, стандарти ISO, ДСТУ, контроль якості, надійність, експлуатаційні показники.

1.1 Роль складання у процесі виробництва виробів

Складання є завершальним та критично важливим етапом у виробничому процесі виготовлення машин та механізмів. Саме на цій стадії окремі деталі та вузли поєднуються у єдину функціональну систему, яка повинна відповідати заданим технічним вимогам і забезпечувати надійність виробу. Від якості виконання складальних операцій залежать точність, довговічність і експлуатаційні характеристики готового виробу. Тому розуміння ролі складання у виробничому процесі є ключовим для ефективного проектування технології виготовлення продукції.

Процес складання є важливою складовою виробництва, оскільки його трудомісткість становить 25–35 % від загальної трудомісткості виготовлення виробів, а при значному обсязі припасовувальних робіт (у дрібносерійному та одиничному виробництві) може досягати 40–50 % [1].

Через це технологічні процеси механічної обробки завжди підпорядковуються вимогам складання. Лише комплексний підхід до виробу дозволяє визначити функціональне призначення кожної деталі, задати необхідну точність і шорсткість поверхонь, встановити вимоги до поверхневого шару та граничні відхилення геометричної форми, тобто сформулювати технічні умови на виготовлення та складання.

Виробництво сучасних машин вимагає чіткої організації процесу складання з ретельною технологічною підготовкою.

Нормативи до процесів складання регламентуються державними стандартами (ДСТУ, ISO), галузевими нормами, а також внутрішніми регламентами підприємств. Основні нормативи включають:

1. Точність складання. Граничні відхилення розмірів (ISO 286–1:2010, ДСТУ 25346). Квалітети та посадки (ISO 286–2, ДСТУ 25347). Допуски форми та розташування поверхонь (ДСТУ EN ISO 1101:2018)

2. Якість з'єднань. Механічні (різьбові, штифтові, заклепкові) – відповідно до ISO 965, ДСТУ ISO 965 та інші. Зварні з'єднання – ДСТУ EN ISO 5817:2022 — національний стандарт, ідентичний міжнародному ISO 5817:2014, що регламентує якість дефектів у зварних швах при зварюванні плавленням сталі, нікелю, титану та їх сплавів. Клейові з'єднання – ISO 21368:2022 — міжнародний стандарт, що задає керівні принципи для виготовлення клеєних конструкцій та процедур формування звітів, що дозволяють оцінювати ризики таких з'єднань .

3. Організація та технологія складання. Технологічні процеси складання – регламентуються стандартами ДСТУ EN ISO 9001:2018 (системи менеджменту якості). Автоматизація складання – ДСТУ Б А.2.4-3:2009 «Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів» – встановлює склад та оформлення креслень і специфікацій для систем автоматизації в будівництві й промисловості. ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення» – містить термінологію, що застосовується в автоматизованих системах, актуальну і для складальних процесів.

4. Безпека складання. Відповідність нормам охорони праці (ДСТУ ISO 45001:2019 – український національний стандарт, ідентичний міжнародному ISO 45001:2018, що регламентує системи управління охороною здоров'я та безбезпекою праці. Вимоги до ергономіки робочого місця ДСТУ 8604:2015 “Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги” — цей стандарт встановлює загальні ергономічні вимоги до робочих місць у сидячому положенні. Пожежна безпека (ДСТУ EN 13478:2014 – національний стандарт України, ідентичний

європейському EN 13478:2001:2008, що стосується безпеки машин і регламентує протипожежні заходи та захист обладнання.)

5. Контроль якості складальних операцій. Використання методів неруйнівного контролю (ДСТУ ISO 3058:2016). Візуальний контроль – описує критерії для вибору луп з малою кратністю для проведення візуального контролю (ДСТУ EN ISO 9712:2022). Кваліфікація та сертифікація персоналу для неруйнівного контролю – встановлює вимоги до рівнів кваліфікації (1–3), процедур навчання й іспитів, ДСТУ ISO 3058:2016. Ультразвуковий контроль – дає методіку випробувань покриттів зварюванням, прокаткою або вибухом та інше).

Залежно від галузі, можуть застосовуватись спеціалізовані стандарти, наприклад, для авіаційного чи автомобільного виробництва.

Відповідно до ДСТУ 2390–94 "Складання. Терміни та визначення", процес складання визначається як технологічний процес поєднання деталей, складальних одиниць або вузлів у складальні одиниці або готові вироби, при якому забезпечується встановлення правильних розмірів, положення і взаємодії деталей згідно з вимогами конструкторської документації та технологічних норм.

Процес складання включає комплекс операцій, які можуть виконуватися як вручну, так і з використанням спеціальних пристроїв, механізмів і автоматизованих систем. Основною метою є створення міцних, точних і надійних з'єднань, що відповідають технічним вимогам і забезпечують функціональність виробу.

Технологічний процес складання — це впорядкована послідовність дій, спрямованих на поетапне об'єднання окремих деталей у вузли, вузлів — у механізми, а також подальше інтегрування цих складових у єдиний функціональний виріб. Усі зазначені елементи — деталі, вузли, механізми — прийнято визначати узагальненим терміном складальні одиниці [1].

Процес складання має чітку структурну організацію та поділяється на окремі елементи: операції, переходи, прийоми, встановлення та робочі рухи,

кожен із яких відіграє певну роль у забезпеченні точності, ефективності та якості кінцевого результату.

Операція — це завершена, технологічно самостійна частина складального процесу, яка виконується одним працівником або бригадою на певному робочому місці з використанням закріпленого обладнання та інструментів.

Перехід становить частину операції, що здійснюється без зміни інструмента, поверхонь з'єднання чи режимів роботи. Він характеризується стабільністю робочих параметрів і виконується в межах одного робочого положення.

Прийом — складова переходу, що охоплює послідовність елементарних дій або рухів, спрямованих на досягнення конкретного результату. Прийоми є основними структурними одиницями ручної або автоматизованої праці складальника.

Встановлення — це процес надання складальним елементам необхідного просторового положення відносно базових поверхонь перед виконанням з'єднання. Воно забезпечує правильність орієнтації деталей, точність взаємного розташування та геометричну відповідність конструкції.

Під час виконання зазначених етапів робітник здійснює робочі рухи, що становлять фізичну основу складального процесу.

Позиція — це зафіксоване положення пристрою з установленою у ньому складальною одиницею відносно інструмента чи нерухомої частини обладнання. Вибір позиції визначає можливість виконання конкретної технологічної дії з потрібною точністю.

Робочий хід — це завершена частина переходу, під час якої відбувається одноразове переміщення інструмента відносно виробу, що спричиняє зміну форми, розмірів або фізико-механічних властивостей матеріалу.

Допоміжний хід — переміщення інструмента або пристрою без зміни геометричних чи фізичних параметрів виробу, але необхідне для підготовки до основного робочого ходу.

Допоміжний перехід — частина операції, яка охоплює дії персоналу або обладнання, що не змінюють форму чи властивості виробу, але забезпечують умови для виконання основного технологічного переходу.

У процесі виробництва об'єкти праці на машинобудівному підприємстві набувають форми виробів. Виріб — це окремий предмет або їх сукупність, створені в результаті технологічного процесу.

За своїм функціональним призначенням вироби поділяються на:

- продукцію основного виробництва, призначену для реалізації або передачі споживачам;
- продукцію допоміжного виробництва, яка використовується для забезпечення внутрішніх потреб підприємства (наприклад, виготовлення інструменту, оснастки, пристосувань тощо) [1].

Відповідно до чинних стандартів, виділяють такі основні категорії виробів:

- *деталь* — найпростіший елемент виробу, виготовлений із цілісного матеріалу без застосування складальних операцій;
- *базова деталь* — конструктивний елемент, що містить базові поверхні для з'єднання інших деталей у вузол або механізм, забезпечуючи точність їх взаємного розташування;
- *складальна одиниця* — частина виробу, яка збирається окремо та надалі використовується як самостійний конструктивний елемент у процесі складання більш складного виробу;
- *вузол* — складальна одиниця, що виконує певну функцію у складі механізму та здатна працювати лише у взаємодії з іншими частинами виробу;
- *складальний комплект* — сукупність елементів, необхідних для складання конкретного виробу або його частини безпосередньо на робочому місці;
- *комплектувальний виріб* — продукція, виготовлена стороннім підприємством і використана у складі кінцевого виробу;

- *агрегат* — складальна одиниця, що має взаємозамінність і може функціонувати як самостійно, так і в складі системи, виконуючи визначену технічну роль.

Окрім машин і механізмів, виробничі підприємства також виготовляють комплекси та комплекти комплектувальних виробів.

Комплекс — це сукупність двох або більше виробів, які не проходять складальних операцій на підприємстві, проте функціонально призначені для спільного виконання певних завдань. Прикладами можуть бути автоматизовані виробничі лінії, цехи-автомати, верстати з числовим програмним керуванням у поєднанні з керуючими системами.

Комплект — це набір із двох або більше виробів, які не з'єднуються між собою під час виробництва, але утворюють єдину систему допоміжного або обслуговувального призначення. До таких належать комплекти запасних частин, вимірювальних приладів, інструментів або пакувальної тари. Процес складання можна класифікувати за різними ознаками: залежно від об'єкта складання або відповідно до етапів виконання [1].

Залежно від об'єкта, який підлягає складанню, розрізняють:

- *вузлове складання* – передбачає з'єднання окремих складових частин виробу, формуючи окремі вузли;
- *загальне складання* – охоплює весь виріб у цілому, завершуючи його формування.

Відповідно до етапів виконання, процес складання поділяється на такі види:

- *попереднє складання* – виконується з метою тимчасового з'єднання деталей або вузлів перед подальшим розбиранням (наприклад, для визначення розміру компенсатора в механізмі);
- *проміжне складання* – здійснюється для об'єднання деталей перед їх спільною механічною обробкою (наприклад, складання корпусу редуктора з кришкою для одночасного оброблення отворів підшипників);

- *складання перед зварюванням* – передбачає фіксацію заготовок для подальшого їх зварювання;
- *остаточне складання* – завершує формування виробу або його частини, після чого розбирання вже не передбачене.

У деяких випадках після остаточного складання проводять частковий демонтаж – це необхідно для підготовки виробу до транспортування або упаковки. Наприклад, при виробництві великогабаритних агрегатів, таких як парові або гідравлічні турбіни, окремі елементи можуть розбиратися для зручності доставки.

За способом створення з'єднань складання може бути [2]:

- *слюсарне складання* – виконується за допомогою механічних операцій, зокрема оброблення і підгонки деталей;
- *монтаж* – передбачає встановлення виробу або його частин у місці експлуатації (наприклад, монтаж верстата з ЧПУ на виробничому майданчику);
- *електромонтаж* – застосовується для з'єднання електротехнічних виробів або їхніх елементів, що проводять струм;
- *методи нероз'ємного з'єднання* – включають зварювання, паяння, клебку та склеювання.

Зміст робіт при виконанні складальних операцій визначається типом виробництва, який може бути одиничним, серійним або масовим. Це суттєво впливає на технологічний процес та організацію складання в машинобудуванні. Таким чином:

- *одиничне та дрібносерійне виробництво* характеризується широкою номенклатурою виробів, відсутністю усталеної технології складання, використанням універсального обладнання та інструментів, потребою у висококваліфікованих робітниках і великим обсягом припасувальних робіт;

- у багатосерійному виробництві процес складання поділяється на вузлове та загальне складання, а обсяг припасувальних робіт значно зменшується. Вироби збирають серіями з певною періодичністю;
- масове виробництво передбачає безперервне складання однойменних виробів із чітким поділом процесу на вузлове та загальне складання. Кожне робоче місце виконує строго визначені операції, а час їх виконання синхронізується із загальним ритмом виробництва. Розробляються детальні технологічні процеси для вузлового та загального складання, а обладнання розташовується відповідно до поточного процесу. Припасувальні роботи практично відсутні, а кваліфікаційні вимоги до робітників нижчі, ніж у серійному чи одиничному виробництві.

Структура складальної операції включає кілька ключових етапів: подачу компонентів, їх правильне позиціонування, з'єднання, фіксацію, вилучення зібраного вузла та перевірку якості. У деяких випадках контроль може здійснюватися перед зняттям вузла або його передачею на наступний етап виробничого процесу.

Технологічний процес складання виробу охоплює низку робіт. Ці роботи поділяються на основні та допоміжні.

До основних належать процеси, що безпосередньо стосуються складання та виконуються у відповідному цеху: складання, регулювання, перевірка, технічне обслуговування та демонтаж. Допоміжні операції включають підготовку та припасування.

Розподіл складального процесу на окремі операції вимагає такої організації робочих етапів, щоб час їх виконання був рівномірним або кратним, а в умовах масового потокового виробництва – повністю узгоджувався з тактом складання.

1.2 Функціональне призначення машини і технічні умови у процесі розробки технологічних процесів складання

Розробка технологічних процесів складання має враховувати функціональне призначення, технічні характеристики машини, а також забезпечувати стабільність виробничого процесу та високий рівень якості кінцевої продукції.

Визначення функціонального призначення машини передбачає детальне визначення завдання, для виконання якого вона створюється [2].

Недостатня точність або помилки у формулюванні функціонального призначення можуть спричинити розробку недосконалих моделей, що призведе до додаткових витрат на їхнє виробництво, освоєння та експлуатацію.

Формулювання основного завдання зазвичай не викликає труднощів, проте необхідно також визначити додаткові умови та специфічні вимоги, які деталізують і уточнюють це завдання. Визначаючи функціональне призначення конкретної машини, важливо чітко окреслити її функції не лише якісно, але й кількісно.

Під час аналізу функціонального призначення спочатку слід встановити клас машини (енергетична, робоча або інформаційна).

Оскільки кожен механізм створюється для виконання певних технологічних операцій, визначення його функціонального призначення необхідно розпочинати з вивчення й опису самого технологічного процесу.

Виходячи з цього, формулювання функціонального призначення машини повинно містити таку основну інформацію [2]:

- детальну характеристику технологічного процесу (призначення, вид, розміри, якість і кількість продукції);
- умови експлуатації (допустимі відхилення якості вихідного матеріалу, вид та обсяги споживаної енергії, режими роботи машини, вплив на навколишнє середовище);

- вимоги до зовнішнього вигляду, безпеки використання, зручності управління, рівня шуму, енергоефективності, механізації та автоматизації процесів.

Такий самий підхід застосовується для аналізу функціонального призначення складових частин машини, як то агрегатів, вузлів, підвузлів тощо.

Основним документом, що відображає функціональне призначення виробу, є технічні умови (ТУ). Це частина технічної документації, документ, що містить вимоги до обладнання, методи контролю, правила приймання, постачання тощо.

Технічні умови повинні містити наступні розділи:

- вступна частина;
- технічні вимоги;
- вимоги безпеки;
- екологічні норми;
- правила приймання;
- методи контролю (випробування, аналіз, вимірювання);
- правила транспортування та зберігання;
- інструкції з експлуатації;
- гарантійні зобов'язання постачальника.

Технічні умови тісно пов'язані з функціональним призначенням виробу. У вступній частині ТУ наводиться характеристика об'єкта, в якому використовується продукція, її загальний опис та умови експлуатації. Наприклад, робота проводиться на відкритому повітрі, у вологому середовищі або за високих температур [2].

Розділ "Технічні вимоги" містить критерії, що визначають якість та експлуатаційні характеристики виробу. При цьому всі показники продукції повинні враховувати як умови експлуатації, так і режими випробувань [2]. Іноді окремі вимоги неможливо встановити заздалегідь, оскільки вони залежать від специфічних умов виробництва, експлуатації або випробувань. У таких

випадках вони також включаються до розділу "Технічні вимоги". Залежно від особливостей виробу у відповідних ТУ встановлюються вимоги до його якості, які визначаються з урахуванням функціонального призначення виробу.

Критерії якості можуть охоплювати такі фактори [2]:

- фізико-хімічні та механічні властивості (міцність, твердість, структура, хімічний склад, термостійкість, зносостійкість тощо);
- експлуатаційні показники (продуктивність, швидкість, ефективність, витрати енергії, палива, мастил тощо);
- параметри надійності (довговічність, безвідмовність, збереженість);
- конструктивні та ергономічні характеристики (дизайн, безпека, рівень шуму, простота керування, час готовності до роботи, стійкість до зовнішніх впливів тощо);
- стабільність параметрів під впливом навколишнього середовища (температурні перепади, механічні навантаження, агресивні речовини);
- специфічні вимоги щодо транспортування, зберігання, експлуатації, вогне- та вибухобезпеки, періодичності технічного обслуговування тощо.

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає роль процесу складання у виробничому циклі машин і механізмів?
2. Який відсоток загальної трудомісткості виробництва становлять складальні операції в різних типах виробництва?
3. Чому технологічні процеси механічної обробки підпорядковуються вимогам складання?
4. Які основні нормативи регламентують точність складання відповідно до міжнародних та національних стандартів?
5. Які стандарти визначають вимоги до якості механічних, зварних і клеювих з'єднань?
6. Які основні вимоги безпеки праці та ергономіки повинні враховуватись під час організації складальних робіт?
7. Що включає технологічний процес складання виробу та які його основні елементи (операції, переходи, прийоми тощо)?
8. Яка різниця між операцією, переходом, прийомом, встановленням та робочим ходом у процесі складання?
9. Як класифікуються вироби за функціональним призначенням і складністю конструкції?
10. Які види складання розрізняють залежно від об'єкта складання та етапів його виконання?
11. Як змінюється організація складального процесу залежно від типу виробництва (одиночного, серійного, масового)?
12. Що таке функціональне призначення машини та які основні параметри необхідно враховувати під час його визначення?
13. Яке значення мають технічні умови (ТУ) у процесі розробки технологічних процесів складання?
14. Які основні розділи повинні міститися у документі «Технічні умови» та що визначає кожен із них?

Лекція №2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ І НОРМ ТОЧНОСТІ НА ВИРІБ

Основні питання, що розглядаються у лекції:

- Значення технічних вимог і норм точності у забезпеченні функціонального призначення виробу;
- Етапи переходу від загальних вимог до конкретних параметрів взаємодії виконавчих поверхонь;
- Джерела інформації, що використовуються при формуванні технічних вимог (теоретичні, експериментальні, аналітичні);
- Ідентифікація виконавчих поверхонь виробу та визначення їхніх зв'язків у структурі машини;
- Встановлення допусків на форму, розміри та розташування деталей відповідно до функціональних вимог;
- Принципи побудови технологічних схем складання виробів і вузлів;
- Послідовність з'єднання деталей у технологічній схемі складання; критерії визначення базових деталей;
- Методи оптимізації порядку складання: мінімізація базових змін і забезпечення зручності монтажу;
- Візуалізація процесів складання за допомогою технологічних схем: правила побудови та позначення вузлів;
- Поняття технологічності конструкції складальних одиниць і методи її оцінки;
- Основні та додаткові показники технологічності конструкцій виробів: трудомісткість, матеріаломісткість, уніфікація, собівартість;
- Коефіцієнти, що характеризують технологічність конструкції: повторюваність, взаємозамінність, механізація, автоматизація;

- Узагальнений коефіцієнт технологічності конструкції виробу: методика розрахунку та критерії оцінки;
- Роль уніфікації, стандартизації та автоматизації у підвищенні технологічності конструкцій;
- Взаємозв'язок між точністю виготовлення, якістю складання та експлуатаційною надійністю виробу.

Ключові слова: технічні вимоги, норми точності, виконавчі поверхні, допуск, взаємозамінність, технологічна схема складання, базова деталь, вузлове складання, маршрут складання, технологічність конструкції, трудомісткість, матеріаломісткість, уніфікація, стандартизація, коефіцієнт технологічності, автоматизація складання, якість, надійність, конструктивна оптимізація, контроль точності.

2.1 Формування технічних вимог і норм точності виробів

Після того як визначено точне функціональне призначення виробу з урахуванням її якісних та кількісних характеристик, розробляються або коригуються технічні вимоги і норми точності. Це забезпечує перехід від загального призначення до конкретних параметрів взаємодії виконавчих поверхонь деталей у складі виробу [2]. Процес формування технічних вимог і норм точності для нової машини (виробу) є непростим. Інженери–технологи змушені уточнювати відсутні параметри або переводити на кількісні показники умови, які задані описово.

Розробці чи оцінці відповідності технічних вимог і норм точності функціональному призначенню машини (виробу) сприяють [2]:

1. теоретичні дослідження механізмів та процесів, що забезпечують роботу машини.
2. експериментальні дослідження на прототипах, макетах або перших зразках.
3. аналіз експлуатаційного досвіду подібних машин у минулому.
4. логічні висновки, засновані на досвіді фахівця, що проводить аналіз.

Встановлення норм точності виробу базується на вимогах до якості продукції, її продуктивності та довговічності. Для їх дотримання необхідно забезпечити точність геометричних параметрів виконавчих поверхонь виробу, визначити точність їх взаємного розташування та взаємодії.

Перехід від загальних вимог функціонального призначення до конкретних параметрів машини передбачає [2]:

1. ідентифікацію виконавчих поверхонь виробу.
2. визначення типу їх зв'язків, через які машина реалізує технологічний процес і створює продукцію.
3. трансформацію номінальних значень і допусків продукції та процесу у параметри виконавчих поверхонь машини.
4. встановлення допусків і норм точності форми, розмірів та розташування виконавчих поверхонь у відповідності до вимог процесу.

2.2 Візуалізація процесу складання за допомогою технологічних схем

Організація загального та вузлового складання може бути ефективно представлена за допомогою технологічних схем, які демонструють структуру та порядок комплектування виробів і вузлів [2].

Технологічна схема складання відображає хронологію з'єднання та закріплення деталей, вузлів, складальних компонентів, агрегатів, тощо у готовому виробі або його складальній одиниці. В процесі розроблення технологічної схеми важливо обґрунтувати порядок складання.

Основними критеріями для визначення черговості операцій є [2]:

1) розподіл виробів на складальні одиниці, що сприяє скороченню ланцюгів складальних розмірних залежностей, підвищенню точності, а також забезпечує зручність складання та демонтажу;

2) послідовність коригувань розташування деталей у складі виробу або його складальної одиниці.

Для того щоб правильно визначити складальну одиницю або деталь, пропонується керуватися рекомендаціями [2]:

- складальна одиниця не повинна мати надмірні габарити чи вагу, а також складатися з великої кількості деталей і з'єднань;
- якщо в ході складання необхідні випробування, обкатка або точне регулювання, відповідна складальна одиниця повинна бути виокремлена (наприклад, зубчаста передача заднього моста автомобіля);
- складальна одиниця при подальшому монтажі в машині не повинна потребувати розбирання, але якщо це неминуче, відповідні розбірні роботи слід передбачити в технологічному процесі (наприклад, кришка з корпусом шестеренного насоса);
- основні конструктивні деталі, за винятком базових (наприклад, станина, рама) та кріпильних елементів, повинні бути включені у складальні одиниці для зменшення кількості окремих деталей, що подаються на загальне складання;
- трудомісткість складання повинна бути рівномірно розподілена між складальними одиницями;
- складальні одиниці повинні бути стійкими до розбирання як у процесі складання, так і при транспортуванні та монтажі;
- їх габаритні розміри слід визначати з урахуванням можливості складання та наявності відповідних засобів для їх транспортування;
- підготовчі та прецизійні роботи, що включають механічну обробку металу, мають бути виділені в окремі операції та виконуватися у відповідних виробничих умовах;
- конструктивний поділ виробу повинен сприяти паралельному складанню максимальної кількості складальних одиниць без втрати експлуатаційних характеристик, що покращує ремонтпридатність.

Розробка технологічної схеми складання є обов'язковим етапом перед створенням повного технологічного процесу складання. Вона являє собою

графічне представлення порядку приєднання деталей та складальних одиниць до основного виробу, поступово перетворюючи його у завершений виріб. Щоб оптимізувати побудову схеми складання, доцільно попередньо розділити виріб на вузли, підвузли, складальні одиниці та деталі (рис. 2.1).

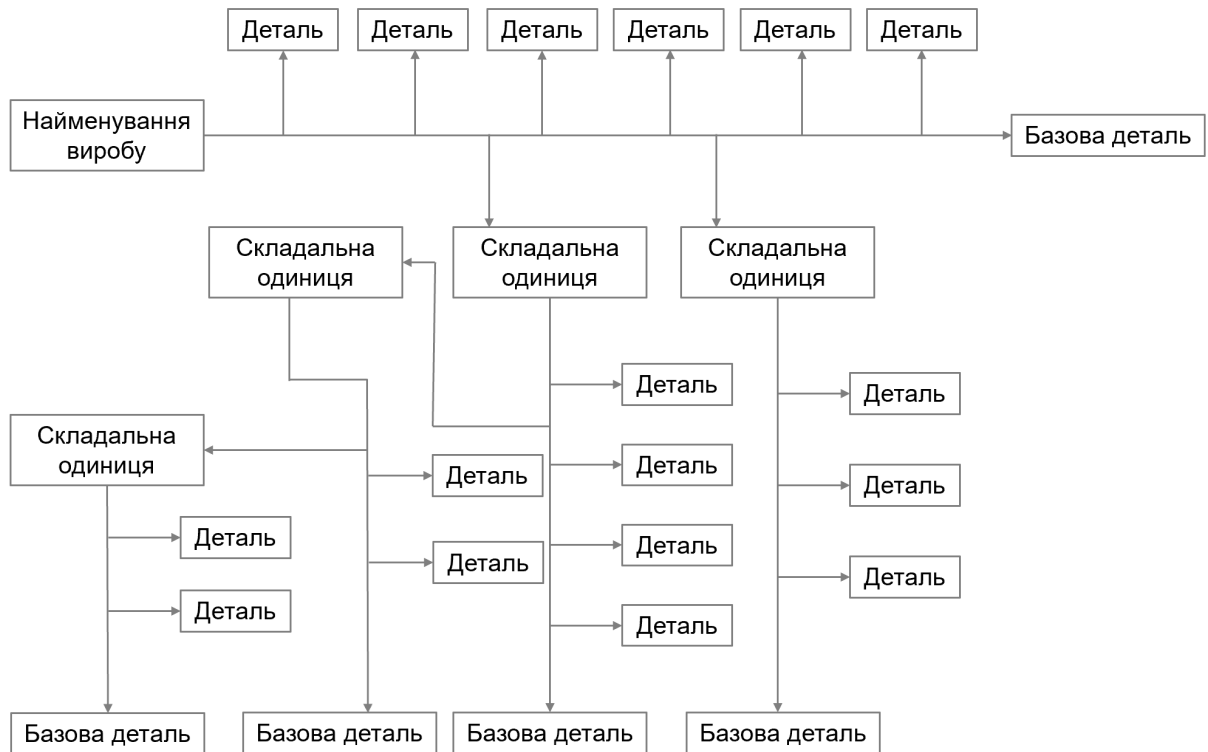


Рис. 2.1. Схема розкладання виробу

На рис. 2.2 подано узагальнену схему процесу складання виробу, яка ілюструє послідовність з'єднання окремих компонентів у цілісну конструкцію. Ідентифікація складових частин машини здійснюється на основі індексації, що відповідає позначенням, вказаним у складальних кресленнях та відповідних специфікаціях. Це дозволяє забезпечити точне позиціонування та взаємозв'язок усіх елементів у процесі проектування та виробництва.

Складання починається з так званої базової деталі — ключового елемента, з якого розпочинається побудова всієї конструкції. Як правило, базовими обирають такі деталі, які створюють зручну основу для виконання більшості складальних операцій без потреби у додатковому переорієнтуванні або переміщенні складальної одиниці. Це дозволяє значно підвищити ефективність і точність виконання процесу.

Втім, не у кожній конструкції існує явно виражений базовий елемент. У таких випадках виникає необхідність розробити декілька можливих маршрутів складання, кожен з яких передбачає різну послідовність приєднання деталей. Після формування цих варіантів здійснюється поглиблений аналіз їх доцільності та ефективності з подальшим проєктуванням кожного маршруту окремо. Такий підхід дозволяє виявити найбільш раціональну схему збирання, яка враховує технологічні, часові та економічні аспекти.

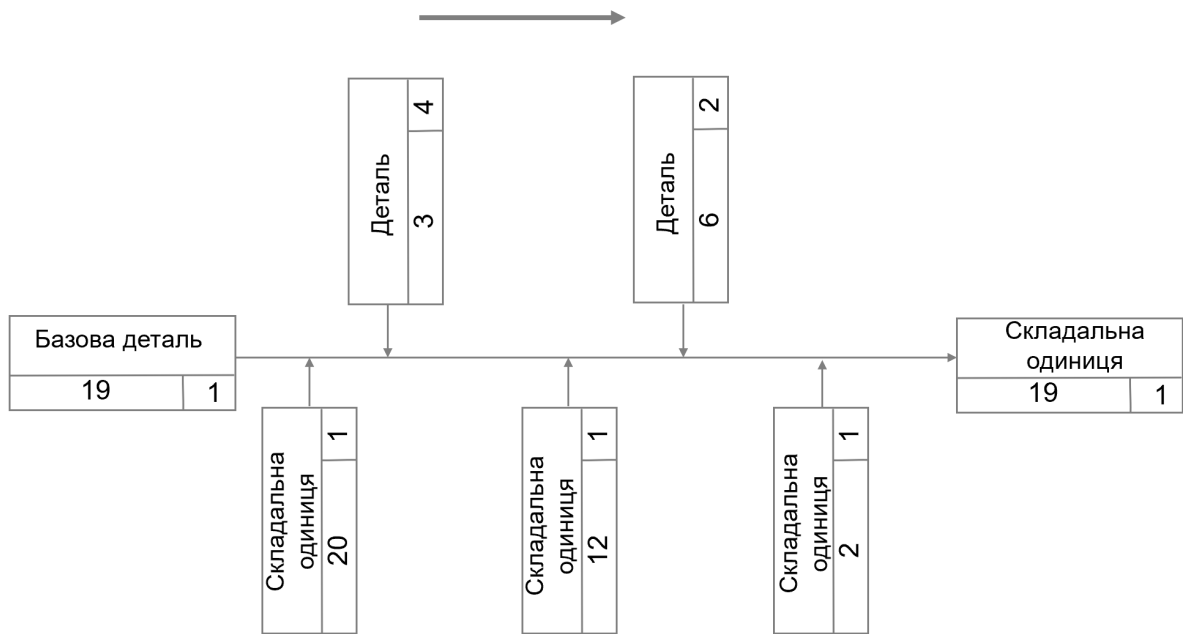


Рис. 2.2. Приклад оформлення технологічної схеми складання

Варто зазначити, що вибір оптимального маршруту складання — це складна й відповідальна задача. Її остаточне рішення, як правило, стає очевидним лише на завершальних етапах проєктування, коли виконано повне порівняння усіх альтернатив і враховано можливі ризики. Щоб скоротити кількість маршрутів, що підлягають глибокому опрацюванню, доцільно використовувати певні критерії відбору. У науковій та виробничій практиці особливої уваги заслуговують два основні критерії [2], що дозволяють ефективно звужити коло розглядуваних варіантів і сфокусуватися на найбільш перспективних з них:

- найкращим є той маршрут, що передбачає мінімальну кількість змін базових деталей під час складання;

- процес складання повинен забезпечувати зручність розміщення деталей та можливість якісного контролю виконаних з'єднань.

У процесі вивчення методів організації складання важливо звернути увагу на спосіб графічного подання послідовності складальних операцій. З цією метою використовується умовна схема, в основі якої лежить горизонтальна пряма лінія. Вона відображає логіку формування складального об'єкта, починаючи від вихідного базового елемента і завершуючи повністю зібраним виробом. Такий підхід дозволяє чітко унаочнити порядок додавання компонентів та структуру виробу загалом.

Над горизонтальною лінією, у суворій послідовності складання, умовно розміщують елементи, які входять до складу виробу безпосередньо у вигляді окремих деталей. Під лінією розташовують вузли, тобто попередньо зібрані частини, що входять до основної конструкції як окремі функціональні або структурні блоки. У випадку вузлового складання такі вузли можуть бути додатково деталізовані. Це означає, що вони можуть бути представлені як підвузли або як окремі деталі, залежно від рівня розгалуження складальної структури.

Складальні одиниці, що належать до першого рівня, тобто ті, які безпосередньо входять до готового виробу, а також елементи наступних рівнів ієрархії можуть бути зображені у вигляді окремих технологічних схем складання. Це дозволяє системно відобразити взаємозв'язки між деталями, вузлами та підвузлами, а також забезпечує зручність для аналізу технологічної послідовності виконання робіт.

Технологічні схеми доповнюють текстовими поясненнями, які уточнюють характер і зміст окремих складальних операцій. Такі пояснення особливо важливі у тих випадках, коли операція не є очевидною або її суть не може бути повністю зрозумілою лише за графічним зображенням. Серед типових операцій, що описуються у примітках, можна згадати встановлення елементів, запресування, приварювання, нагвинчування, а також перевірку та регулювання зазорів. Окрім основних дій, у схемах зазначаються й етапи

контролю, які виконуються під час складання. Це може бути, наприклад, перевірка правильності положення деталей, відповідності розмірів, точності з'єднань та інших параметрів, що впливають на функціональність і якість виробу.

У деяких випадках у процесі складання може бути передбачене часткове або повне розбирання окремих складових частин. Такі технологічні дії також позначаються на схемі, переважно у вигляді пояснювальних написів, що супроводжують відповідні етапи процесу.

На завершення варто звернути увагу на оформлення граф, у які вносяться дані про деталі та складальні одиниці. Рекомендований порядок заповнення таких граф подано на рис. 2.3. Він слугує прикладом уніфікованого підходу до подання інформації про компоненти виробу та є важливою частиною технічної документації, яка використовується у процесі виробництва та контролю якості.

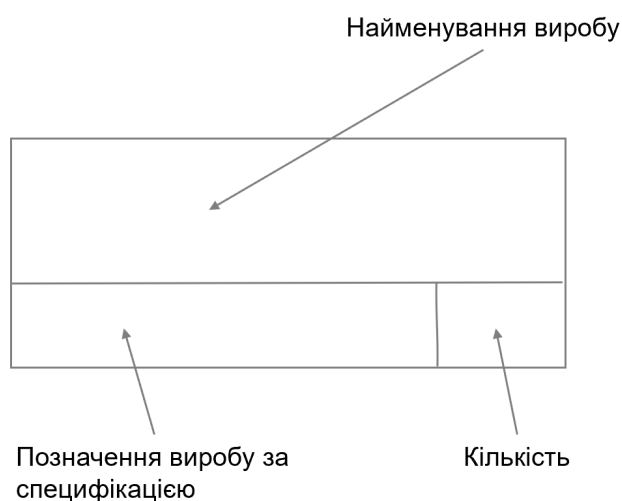


Рис. 2.3. Заповнення граф елемента схеми складання

2.3 Оцінка технологічності складальних одиниць

Технологічність конструкції виробу визначається її властивостями, які сприяють зменшенню витрат на виготовлення, експлуатацію та обслуговування, одночасно забезпечуючи встановлений рівень якості та відповідність умовам використання. Це поняття є надзвичайно важливим у всіх етапах

життєвого циклу продукції, оскільки правильне конструкторське рішення може значно підвищити ефективність виробничих процесів та ремонтпридатність обладнання.

Оцінювання технологічності конструкції виробу може здійснюватися у двох формах. Якісна оцінка базується на бінарному підході, коли властивості конструкції визначаються як прийнятні або неприйнятні, зручні або складні для реалізації. Кількісна оцінка передбачає визначення конкретних показників, які можуть бути основними або додатковими.

Критерії класифікації таких показників охоплюють кілька напрямів. За сферою використання вони поділяються на виробничі, експлуатаційні та ремонтні. За рівнем деталізації виділяють одиничні показники, що характеризують окремі властивості, та комплексні, які враховують декілька аспектів одночасно. Також існує поділ за способом подання: основні показники фіксують головні характеристики, додаткові — уточнюють окремі деталі. За характером застосування показники поділяють на базові, які використовуються для загальної оцінки, та порівняльні, що дозволяють зіставляти різні конструктивні рішення.

У процесі розробки виробу технологічність конструкції оцінюється на трьох основних етапах. На стадії виготовлення розглядається виробнича технологічність. Під час використання — експлуатаційна. У процесі сервісного обслуговування та капітального ремонту — ремонтна технологічність.

З метою досягнення високого рівня виробничої технологічності застосовують кілька практичних підходів. Одним із них є підвищення рівня серійності за рахунок уніфікації деталей та вузлів, включаючи використання типових елементів, що вже застосовуються у подібних виробках. Також ефективним є створення параметричних рядів, у межах яких базові моделі адаптуються під конкретні вимоги. Широке впровадження стандартизованих елементів, таких як різьбові з'єднання, отвори та типові поверхні, значно спрощує процес проєктування і виготовлення.

Ще одним напрямом є оптимізація використання матеріалів. Це досягається шляхом вибору доступної сировини без втрати функціональних властивостей, застосування економічних заготовок — таких як прокат, литво чи штамповані деталі, а також шляхом зниження витрат на механічну обробку, зменшення маси конструкції і скорочення номенклатури використовуваних матеріалів.

Важливим є також вдосконалення конструктивних рішень. Особливу увагу приділяють забезпеченню жорсткості та міцності, спрощенню виготовлення завдяки раціональному розташуванню базових поверхонь, забезпеченню взаємозамінності елементів і уніфікації типорозмірів.

На завершення варто враховувати специфіку виробництва. Сюди входить наявність відповідного технологічного обладнання, кваліфікованого персоналу, а також можливість застосування сучасних виробничих методів та автоматизації.

Для практичного використання та порівняльної оцінки технологічності конструкцій доцільно звернутися до рекомендованих показників, що наводяться у табл. 2.1. Вони дозволяють здійснювати обґрунтоване оцінювання проєктних рішень ще на ранніх етапах конструювання.

До основних показників, які визначають технологічність конструкції виробу, належать трудомісткість виготовлення виробу, рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення, технологічна собівартість виробу, а також рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю [2].

Окрім основних, використовують також додаткові показники технологічності, які умовно поділяються на дві групи.

Перша група — це техніко-економічні показники. До них відносять трудомісткість процесів, зокрема відносну трудомісткість заготівельних і виробничих робіт, підготовки виробу до функціонування, профілактичного обслуговування та ремонтів. Також сюди входить коефіцієнт ефективності

взаємозамінності, відносна собівартість підготовки, профілактичного обслуговування і ремонтів, а також питома вартість ремонтів [2].

Табл. 2.1. Рекомендовані показники технологічності конструкції виробу згідно [2]

Показники технологічності конструкції виробу	Види виробів			
	Деталь	Складальна одиниця	Комплекс	Комплект
1. Трудомісткість виготовлення	+	+	+	+
2. Питома матеріаломісткість	–	+	+	–
3. Технологічна собівартість виробу	+	+	+	+
4. Середня оперативна трудомісткість технічного обслуговування	0	+	+	–
5. Середня оперативна вартість технічного обслуговування	0	+	+	–
6. Середня оперативна тривалість технічного обслуговування	0	0	0	0
7. Питома трудомісткість виготовлення виробу	–	+	+	–
8. Трудомісткість монтажу	–	+	+	–
9. Коефіцієнт застосування матеріалу	–	+	0	0
10. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів	+	0	0	0
11. Коефіцієнт складу	–	+	+	–

Примітка: знак "+" означає, що обов'язкове визначення величини показника точними методами;

знак "–" означає, що для даного виду виробів або стадії розробки конструкторської документації показник не визначається;

знак "0" означає, що не обов'язково визначення показника в загальному випадку.

Друга група — технічні показники. Вони включають уніфікацію конструкції: коефіцієнти уніфікації виробу та його конструктивних елементів, коефіцієнт повторюваності. У межах оцінки технологічних процесів розглядають коефіцієнт застосування типових технологічних процесів. Показники витрат матеріалів охоплюють масу виробу, питому матеріаломісткість, коефіцієнти використання та застосовуваності матеріалу. Якість обробки оцінюється за коефіцієнтами точності обробки і шорсткості поверхні.

Конструктивні особливості виробу визначаються через коефіцієнти складу та перспективного використання елементів у інших виробках [2].

Ці додаткові показники дозволяють всебічно оцінити рівень стандартизації та уніфікації виробу, ступінь його придатності до багаторазового використання, забезпечення принципу взаємозамінності, а також ефективність автоматизації складальних процесів. Зокрема, для цього застосовується коефіцієнт автоматизації $K_{авт}$. Загальна кількість показників, які використовуються при оцінці технологічності конструкції, може досягати 50 [2].

У разі автоматичного складання коефіцієнт автоматизації дозволяє зробити висновок про рівень автоматизації як самого виробу, так і його складових частин. Якщо значення коефіцієнта $K_{авт}$ перебуває в межах від 0 до 0,45, рівень автоматизації вважається низьким. Значення в інтервалі від 0,45 до 0,60 свідчить про середній рівень автоматизації. Якщо коефіцієнт перевищує 0,60, автоматизація процесу оцінюється як висока [2].

Для проведення кількісної оцінки технологічності конструкції виробу застосовують узагальнений коефіцієнт технологічності [2].

$$K_T = \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot K_i$$

де K_i – величина i -го коефіцієнту технологічності; λ_i – рівень значимості i -го коефіцієнту технологічності (табл. 2.2).

Після проведення розрахунків узагальненого коефіцієнта технологічності K_T конструкція вважається високотехнологічною, якщо його значення перебуває в межах від 0,7 до 1. Якщо K_T становить від 0,2 до 0,7, конструкція оцінюється як технологічна. При значеннях у межах від 0 до 0,2 конструкція визнається нетехнологічною [2].

Для повнішої оцінки технологічності конструкції доцільно поєднувати кількісний аналіз з якісним. Це дозволяє всебічно оцінити адаптацію виробу до умов виробництва, експлуатації та ремонту.

Табл. 2.2. Розрахункові формули і вагові коефіцієнти (орієнтовно) для розрахунку коефіцієнта технологічності виробу [2]

Назва коефіцієнта K_i	Позначення і розрахункова формула	Параметри формул	λ_i		
			одиничне	серійне	масове
Коефіцієнт числа деталей	$K_{\text{чд}} = e^{-0,006n}$	n – загальна кількість деталей і складальних одиниць у виробі	0,2	0,15	0,1
Коефіцієнт повторюваності	$K_{\text{пов}} = 1 - Q/n$	Q – кількість найменувань деталей і складальних одиниць у виробі	0,2	0,1	0,05
Коефіцієнт механізації	$K_{\text{мех}} = n_{\text{мех}}/n$	$N_{\text{мех}}$ – кількість деталей, які можна встановити зі застосуванням засобів механізації	0,1	0,2	0,3
Коефіцієнт взаємозамінності	$K_{\text{вз}} = n_{\text{в}}/n$	$N_{\text{вз}}$ – кількість з'єднань, які виконуються по методу повної взаємозамінності	0,15	0,2	0,2
Коефіцієнт уніфікації і стандартизації	$K_{\text{у}} = n_{\text{у}}/n$	$N_{\text{у}}$ – кількість стандартних та уніфікованих деталей.	0,1	0,15	0,15
Коефіцієнт числа напрямків	$K_{\text{в}} = 1 - V_i/n$	V_i – кількість напрямків складальних рухів	0,2	0,1	0,05
Коефіцієнт складу	$K_{\text{зб}} = O/Q$	O – кількість складальних одиниць у виробі	0,05	0,1	0,15

Примітка: Сума вагових коефіцієнтів λ_i для будь-якого набору коефіцієнтів, що характеризують технологічність виробу, має становити одиницю.

Запитання для самоконтролю

1. Що розуміють під службовим призначенням виробу, і яку роль воно відіграє у процесі його проєктування?
2. Які основні фактори враховуються при визначенні службового призначення виробу?
3. Які ключові аспекти повинні бути відображені у формулюванні службового призначення виробу?
4. Що таке технічні умови? Яка їхня структура та основне призначення у виробничому процесі?
5. Які принципи лежать в основі поділу виробу на складальні одиниці та деталі?
6. Які існують види технологічних схем складання та в чому їхні особливості?
7. Які етапи включає процес розроблення технологічної схеми складання?
8. З якою метою створюється схема складання виробу, і які переваги вона дає у виробничому процесі?
9. Які основні правила та рекомендації слід враховувати при визначенні послідовності складання виробу?
10. Як визначається технологічність складання, і які фактори впливають на її рівень?
11. Які показники використовуються для оцінки технологічності складальних одиниць?
12. Які методи використовуються для кількісної та якісної оцінки технологічності конструкції виробу?
13. Як визначають рівень технологічності конструкції виробу та які значення коефіцієнта K_T є допустимими?
14. Яку роль відіграє уніфікація та стандартизація у підвищенні технологічності виробу?

Лекція №3. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ЕКОНОМІКА СКЛАДАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Поняття організації складального процесу та її форми — непотокова, групова, потокова;
- Види складання за характером руху виробу: стаціонарне та рухоме складання;
- Особливості непотокового стаціонарного складання: структура робочих місць, технологічне оснащення, економічна доцільність застосування;
- Характеристика непотокового рухомого складання: транспортні засоби, послідовність виконання операцій, розрахунок кількості робочих місць;
- Потокові форми складання — стаціонарне та рухоме; їхні відмінності, умови застосування, розрахунок параметрів потоку;
- Організаційні форми складання залежно від типу виробництва: одичне, дрібносерійне, середньосерійне, великосерійне, масове;
- Вибір організаційної форми складання на основі трудомісткості, обсягів випуску та характеристик виробу;
- Основи нормування складальних робіт: поняття трудомісткості, норми часу, обслуговування, виробітку, кількості та нормованого завантаження;
- Методи нормування: аналітичний та дослідно-статистичний; їхні переваги, сфери застосування;
- Структура часу на виконання складальних робіт: основний, допоміжний, обслуговування робочого місця, перерви, вимушені паузи;
- Документування складальних процесів — технологічні карти, операційні карти, розряди робіт, вартісна оцінка трудомісткості;

- Критерії техніко-економічної ефективності складального процесу: абсолютні та відносні показники;
- Абсолютні критерії ефективності: продуктивність праці, собівартість, тривалість циклу, використання обладнання;
- Розрахунок трудомісткості, технологічної собівартості, тривалості циклу складання та витрат на обладнання, енергію, повітря, амортизацію;
- Відносні критерії ефективності: коефіцієнти собівартості, завантаження робочих місць і потокової лінії, розчленування процесу, досконалості, механізації, автоматизації, мобільності обладнання;
- Практичні підходи до оцінювання ефективності складальних ліній, розрахунок коефіцієнта використання складального часу потоку;
- Вплив організаційної форми та рівня механізації на економічну доцільність виробництва.

Ключові слова: організація складального процесу; непотокове складання; потокове складання; групове складання; стаціонарне складання; рухоме складання; такт випуску; тип виробництва; серійність; трудомісткість; нормування праці; аналітичний метод нормування; дослідно-статистичний метод; технологічна карта; собівартість складання; коефіцієнт використання складального часу; критерії ефективності; продуктивність праці; тривалість циклу; механізація та автоматизація складання; потокова лінія; економічна доцільність; коефіцієнт досконалості процесу; коефіцієнт мобільності обладнання.

3.1 Тип виробництва і організаційні форми

У різних видах виробництва [3, 4] організація складального процесу може набувати різних форм. Вона поділяється на непотокову, групову та

потокову. Залежно від руху виробу складання може бути стаціонарним або рухомим (див. рис. 3.1).

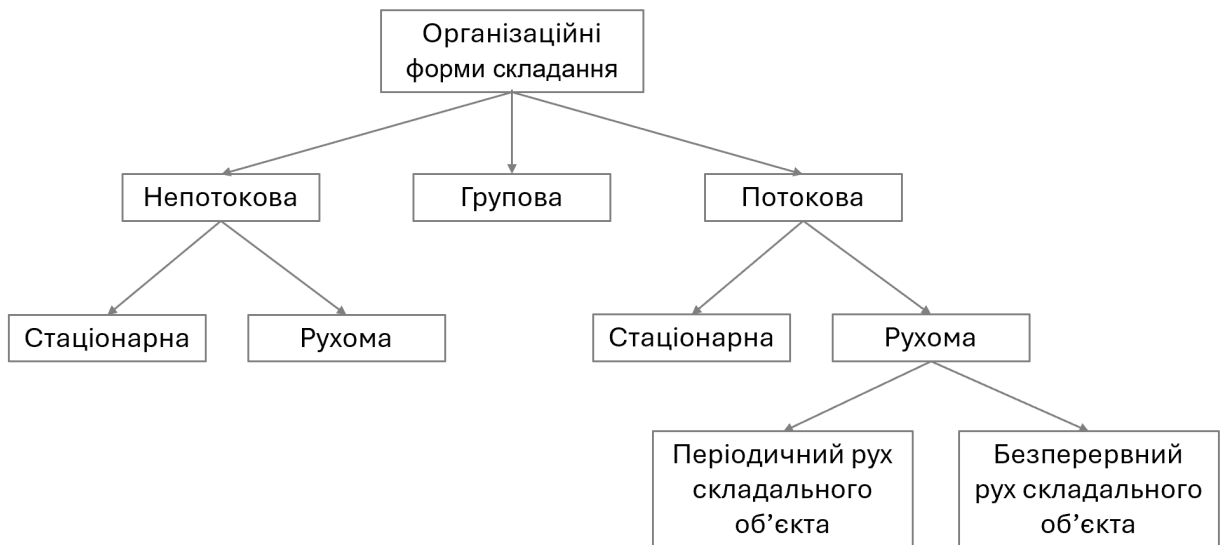


Рис. 3.1. Схема організаційних форм складання [3]

Потокове складання передбачає безперервне або періодичне переміщення об'єктів складання або працівників, які виконують складальні операції, відповідно до встановленого такту. Якщо такт не витримується, процес вважається таким, що належить до непотокової форми складання відповідно до джерел [3, 4]. Об'єкт складання може залишатися нерухомим на одному місці протягом усього процесу або переміщуватися між робочими зонами. У першому випадку процес класифікується як стаціонарне складання, у другому як рухоме.

Групове складання базується на об'єднанні виробів з подібними конструктивними і технологічними характеристиками. Це дає можливість використовувати уніфіковане оснащення і однакові складальні операції на спеціалізованих робочих місцях. Формування груп відбувається з урахуванням трудомісткості процесу та запланованого обсягу виробництва. Остаточний склад груп визначається на основі розрахунку завантаження обладнання як показано в таблиці 3.1. Така організаційна форма є поширеною в умовах серійного виробництва, де застосовують переналагоджувані пристрої, а також механізовані та автоматизовані засоби оснащення.

Непотокове стаціонарне складання згідно з [3] передбачає, що виріб залишається на одному робочому місці або стенді протягом усього процесу складання. Усі необхідні деталі та складальні одиниці подаються безпосередньо до цього місця. Операції виконуються працівником або бригадою, можливий розподіл операцій між виконавцями або під керівництвом майстра. Робочі місця обладнуються універсальним складальним устаткуванням та підіймально-транспортними пристроями.

Через обмеження простору залучення великої кількості працівників до одного стенда одночасно є неможливим, оскільки це призводить до перешкод у роботі. У зв'язку з цим складальні операції часто виконуються послідовно, що подовжує загальний цикл процесу, ускладнює підтримання рівномірного ритму роботи і може призвести до нерівномірного випуску продукції відповідно до джерела [3].

Кількість робочих місць або стендів для одночасного складання однакових об'єктів позначена як γ_0 визначається за відповідною формулою згідно з джерелом [3]:

$$\gamma_0 = \frac{T_0 - t_c}{T};$$

де T_0 – розрахункова трудомісткість усіх переходів складання одного об'єкта (трудомісткість операцій);

t_c – розрахункова трудомісткість переходів, виконання яких збігається за часом із виконанням інших переходів (трудомісткість сумісних операцій);

T – розрахунковий такт складання.

Такт випуску T (у хвиликах) виробів із ділянки складання вузла визначається за формулою [3]:

$$T = \frac{F_{\partial o} \cdot 60}{N};$$

де $F_{\partial o}$ – дійсний фонд роботи обладнання (в годинах) з округленням при 40-годинному робочому тижні розраховується за формулою [3]:

$$F_{\partial o} = [(365 - 104 - C) \cdot 8] \cdot m \cdot \left(1 - \frac{M}{100}\right);$$

де 365 – кількість календарних днів за 1 рік, дн.;

104 – кількість вихідних днів (неділь та субот) за 1 рік, дн.;

C – кількість святкових днів за 1 рік, дн. (установлюється за розпорядженням Кабінету Міністрів України);

8 – тривалість робочого дня (при 40 годинах роботи за тиждень та двох вихідних), год;

m – кількість змін роботи обладнання;

M – витрата часу на проведення ремонту, обслуговування та налагодження обладнання, %;

N – обсяг випуску виробів за 1 рік з урахуванням додаткових виробів, які виготовляються на підприємстві за незмінним кресленням.

Якщо технологічний процес складання передбачається виконувати із застосуванням автоматичного обладнання або автоматичних ліній, тоді такт T_a розраховується з урахуванням коефіцієнта використання цього обладнання який зазвичай становить η у межах від 0,7 до 0,75 згідно з джерелом [3]:

$$T_a = \frac{F_{до} \cdot 60 \cdot \eta}{N}$$

Непотокове стаціонарне складання є економічно доцільним для виготовлення продукції в обмеженому обсязі. До таких виробів належать великогабаритні дизельні двигуни, важкі турбіни та прокатні стани. У разі збільшення обсягу виробництва з'являється можливість переходу до непотокового рухомого складання. Основною особливістю цієї форми є застосування транспортних засобів для переміщення складальних об'єктів між окремими робочими місцями.

Кількість q_1 робочих місць або позицій які послідовно проходить складальний об'єкт визначається за відповідною формулою відповідно до джерела [3]:

$$q_1 = \frac{T_0 - T_c}{(T - t_n) \cdot \gamma_1};$$

де t_n^l розрахунковий час, потрібний для переміщення одиниці складального об'єкта із одного робочого місця на інше;

γ_1 кількість паралельних потоків, які потрібні для паралельного складання однакових об'єктів, залежно від заданої виробничої програми,

$$\gamma_1 = \frac{T_{on}^{нб} + t_n^l}{T};$$

де $T_{on}^{нб}$ трудомісткість найбільшої за часом складальної операції (трудомісткість усіх несумісних переходів, які складають цю операцію).

Якщо операції не є сумісними за часом, але транспортування об'єктів і виконання основних операцій здійснюються одночасно в межах одного потоку, тоді розрахункова кількість q_1 робітників або робочих місць визначається за формулою згідно з джерелом [3]:

$$q_1 = \frac{T_0}{T}$$

Подальше зростання обсягу складальних робіт створює економічні передумови для переходу до потокової форми організації складання. Однією з форм такого складання яка потребує найменших витрат на впровадження є потокове стаціонарне складання. Кількість робітників або бригад складальників необхідних для одного потоку або кількість об'єктів які одночасно перебувають у процесі складання в межах одного потоку визначається за формулою відповідно до джерела [3]:

$$q_2 = \frac{T_0 - T_c}{(T - t_p) \cdot \gamma_2};$$

де t_p розрахунковий час, потрібний для переходу робітників або бригад від одних складальних об'єктів до інших;

γ_2 кількість паралельних потоків, потрібних для паралельного складання однакових об'єктів, залежно від заданої програми випуску виробів,

$$\gamma_2 = \frac{T_{on}^{нб} + t_p}{T}$$

Одним із прикладів реалізації потокового стаціонарного складання є серійне виробництво, де робітники переміщуються від одного об'єкта до іншого для виконання однакових операцій. Такий підхід дозволяє раціонально використовувати обладнання та персонал, особливо при складанні великогабаритних виробів, наприклад токарних верстатів. Робочі зони залишаються незмінними, а сам об'єкт не переміщується між позиціями, що спрощує організацію процесу.

У випадку подальшого збільшення обсягів виробництва доцільно впровадити потокову рухому форму організації складання. У цьому випадку складальні об'єкти переміщуються між робочими місцями за допомогою механізованих засобів транспортування. Переміщення може здійснюватися періодично або безперервно залежно від особливостей технологічного процесу. Найчастіше для цього застосовуються різні типи конвеєрів серед яких поширення набули стрічкові, ланцюгові, штангові та рамкові системи. Вибір типу конвеєра залежить від масогабаритних характеристик виробу, послідовності операцій і ступеня автоматизації процесу.

У разі безперервного переміщення складального об'єкта визначення швидкості руху конвеєра позначеної як v здійснюється з використанням відповідної формули згідно з джерелом [3]:

$$v = \frac{L + l_1}{T \cdot \gamma_3};$$

де L – довжина об'єкта, що складається, яка вимірюється у напрямі руху конвеєра, м;

l_1 – відстань між об'єктами, яка потрібна для зручності складання, м; ($l_1=0,3-1$ м);

γ_3 – кількість паралельних потоків, потрібних для паралельного складання об'єктів, залежно від обсягу випуску виробів.

Розрахована швидкість руху конвеєра позначена як v повинна відповідати вимогам техніки безпеки та нормативам охорони праці, що діють в Україні. З міркувань безпечної експлуатації обладнання така швидкість не

повинна перевищувати допустиме значення яке становить від 0,5 до 5,5 метрів за хвилину. Перевищення цього діапазону може створити небезпеку для працівників і порушити регламент виконання складальних операцій.

За цієї умови виробничу потребу задовольняють шляхом організації декількох паралельних потоків. Такий підхід дозволяє рівномірно розподілити навантаження між лініями і забезпечити виконання плану випуску без перевищення допустимої швидкості переміщення об'єктів. Кількість паралельних потоків позначена як γ_3 розраховується за відповідними формулами наведеною у джерелі [3]:

– для складання із безперервним рухом об'єкта (потокове рухоме складання):

$$\gamma_3 = \frac{T_{on}^{нб} + t_n^{ll}}{T};$$

де t_n^{ll} розрахунковий час, потрібний робітнику для повернення у вихідну позицію після виконання операції;

– для складання із періодичним рухом об'єкта [3]:

$$T_{um} = T_o + T_D + T_{об} + T_{від};$$

де T_{um} – штучний час на виконання однієї операції, хв;

T_o – основний (технологічний час переходу), хв;

T_D – допоміжний час переходу, хв;

$T_{об}$ – час обслуговування конвеєра і складальних місць, хв;

$T_{від}$ – час на відпочинок та особисті потреби виконувача, хв.

Розрахункова кількість q_3 робочих місць, або позицій, які повинен пройти об'єкт, що складається, визначається за формулами:

– для складання із безперервним рухом об'єкта:

$$q_3 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n^{ll}) \cdot \gamma_3}$$

– для складання із періодичним рухом об'єкта:

$$q_4 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n^l) \cdot \gamma_2}$$

Довжина робочої частини конвеєра визначається за формулою:

$$L_p = (L + l_1) \cdot (q_3 + 1)$$

Потокове складання з рухом складальних об'єктів характеризується більшою продуктивністю, скороченим циклом складання і рівномірним випуском продукції. Ця форма організації процесу має найкращі техніко-економічні показники в порівнянні з іншими способами організації складання.

Оцінка ефективності складальної лінії здійснюється за коефіцієнтом використання складального часу потоку K_c який розраховується за відповідною формулою:

$$K_c = \frac{T_o}{T_o + T_n + T_3 + T_{in}};$$

де T_o – час, витрачений на складальні операції;

T_n – час переміщення об'єкта при складанні;

T_3 – час зупинок, який виникає через розбіжність часу попереднього складання вузлів і такту загального складання;

T_{in} – час зупинок, який виникає через розбіжність продуктивності роботи інших цехів і такту загального складання (при проектуванні $T_3=0$ і $T_{in}=0$, тобто зупинка конвеєра неприпустима).

На практиці коефіцієнт використання складального часу K_c не дорівнює одиниці і в найкращому випадку становить від 0,9 до 0,92.

За заданою кількістю виробів що виготовляються за незмінними кресленнями та приблизною трудомісткістю процесу складання яка може базуватися на даних підприємства вибирають відповідну організаційну форму складання. Це може бути непотокове стаціонарне або рухоме складання або потокове стаціонарне чи рухоме зі періодичним або безперервним рухом складального об'єкта згідно з джерелом [3]. Отримані дані трудомісткості порівнюють із розрахованим тактом випуску продукції. Тип виробництва визначається відповідно до таблиці 3.1 а організаційна форма складання вибирається на основі таблиці 3.2.

Табл. 3.1. Визначення типу виробництва [3]

Трудомісткість, год	Понад 2500	250 – 2500	25 – 250	2,5 – 25	0,25 – 2,5	Менше 0,25	Тип виробництва
	До 1	До 3	До 5	До 8	До 80		Одиничний
Місячний обсяг випуску виробів, штук	2 – 4	3 – 8	6 – 30	9 – 50		1000 – 6000	Дрібносерійний
	Більше 5	9 – 60	31 – 350	51 – 600	81 – 800		Середньoserійний
		Більше 1500	351 – 1500	601 – 3000	801 – 4500		Великосерійний
		60	Більше 1500	Більше 3000	Більше 4500	Більше 6000	Масовий

Табл. 3.2. Визначення організаційної форми складання [3]

Тип виробництва						
Одиничне	Дрібносерійне	Середньoserійне	Великосерійне	Масове		
Організаційна форма						
Непотокова			Потокова			
Вид переміщення виробу						
стаціонарний	рухомий		стаціонарний	рухомий		
без розчленування складальних робіт	з розчленуванням складальних робіт					
Спосіб просування виробу						
нерухомий	вільний	примусовий	нерухомий	вільний	примусовий	
Вид обладнання						
Стенд, верстат, підлога цеху тощо	Візок, рольганг тощо	Візок, конвеєр тощо	Обладнаний стенд	Візок, рольганг тощо	Конвеєр із періодичним рухом	Конвеєр з безперервним рухом
Галузь економічно доцільного використання						
Важке та енергетичне машинобудування (складання великих дизелів, турбін, прокатних станів	Залізничні потяги, вагони, обладнання хімічної промисловості, апарати електронної галузі	Середні верстати, вантажні автомобілі, літаки, великі дизелі тощо	Електродвигуни, карбюратори автомобільних двигунів, автомобільні двигуни, електроапаратура, побутові вроботи			

Вибір виду організації складального процесу на цьому етапі необхідно враховувати заздалегідь. Надалі цей вибір підлягає уточненню після визначення технологічних пристроїв і обладнання, які потрібні для складання вузла, а також після проведення нормування складальних робіт.

3.2 Нормування та трудомісткість складальних робіт

Нормування складальних робіт включає визначення трудомісткості операцій розрахунок необхідної кількості обладнання оцінку завантаження робочих місць встановлення вартості виробу та календарне планування виробництва Це важливий етап організації виробництва який забезпечує ефективне використання ресурсів та оптимізацію робочого часу.

Основні норми праці включають норму часу яка визначає витрати часу на виконання складальної операції норму обслуговування що встановлює час необхідний для обслуговування обладнання норму вироблення яка показує обсяг продукції що працівник має виготовити за певний період норму кількості яка вказує скільки робітників потрібно для виконання заданого обсягу робіт нормоване завдання що є переліком робіт які необхідно виконати за встановлений термін а також технічно обґрунтовану норму часу що регламентує оптимальний час виконання операції з урахуванням сучасних технологій та виробничих умов [3].

Для нормування складальних робіт застосовують різні методи зокрема аналітичний метод який базується на аналізі способів виконання операцій рівня механізації та ефективності обладнання процес розбивається на елементи оцінюються фактори що впливають на тривалість кожного елемента і визначається загальний час виконання операції також використовують дослідно-статистичний метод який встановлює норми часу на основі даних із аналогічних виробництв переважно цей метод застосовується для одиничного виробництва.

Час на виконання складальних робіт складається з основного часу який витрачається безпосередньо на з'єднання і закріплення деталей допоміжного

часу що включає дії необхідні для складання такі як встановлення деталей керування обладнанням контроль якості час на обслуговування робочого місця який охоплює підготовку робочого простору налагодження обладнання заміну інструментів прибирання та часу на перерви які передбачають відпочинок працівників а також вимушені паузи через організаційні або технічні причини [3].

Всі складальні процеси повинні бути задокументовані у вигляді технологічних карт згідно з вимогами [4, 5] операційні карти слюсарно-складальних робіт заповнюються відповідно до встановлених стандартів Під час нормування оцінюється кожен етап процесу окремо трудомісткість визначається за довідковими даними і залежить від типу складання рівня автоматизації та складності виробу Підготовчо-завершальний час включає ознайомлення з кресленнями налаштування обладнання перевірку відповідності всіх елементів процесу Кожній операції присвоюється розряд роботи встановлюється її вартість що дозволяє отримати загальну трудомісткість складання виробу або окремих вузлів якщо це передбачено технологією [3].

3.3 Критерії техніко-економічної ефективності

Технологічний процес складання повинен бути розроблений так, щоб забезпечити необхідний обсяг виробництва і відповідність продукції конструкторській документації Важливо також дотримуватися економічної доцільності що передбачає оптимізацію витрат та зниження собівартості виробів.

Серед кількох альтернативних варіантів складання проводиться детальний аналіз після якого обирають найбільш ефективний та рентабельний підхід що гарантує високу продуктивність і якість продукції [3].

Для об'єктивного порівняння різних методів складання використовують абсолютні і відносні критерії оцінки що дозволяють визначити найкраще рішення з урахуванням технологічних економічних та виробничих факторів.

Абсолютні критерії являють собою конкретні числові показники, за допомогою яких оцінюють ефективність організації складального процесу. До

таких критеріїв належать продуктивність праці, собівартість виробу, тривалість циклу складання, витрати матеріалів і енергії, а також рівень використання обладнання. Вони дозволяють безпосередньо порівнювати різні варіанти організації виробництва за конкретними значеннями та визначати найбільш раціональний варіант з урахуванням заданих техніко-економічних параметрів.

Критерій трудомісткості складального процесу виробів T_v визначається як сума штучного часу за всіма m операціями складання. Для масового виробництва $T_B = \sum_{i=1}^m T_{um_i}$, а для серійного виробництва $T_B = \sum_{i=1}^m T_{um_{ki}}$

Критерій технологічної собівартості складання $C_{ск}$ одного виробу визначається за формулою

$$C_{ск} = C_{зн.р} + C_{зн.н} + C_{об} + C_{ос};$$

де $C_{зн.р}$ – заробітна платня робітників–складальників із додатковими нарахуваннями;

$C_{зн.н}$ – заробітна плата налагоджувальників;

$C_{об}$ – витрати, що пов'язані з експлуатацією та амортизацією складального обладнання;

$C_{ос}$ – витрати, що пов'язані з експлуатацією та амортизацією технологічного оснащення.

Заробітна плата робітників визначається за формулою

$$C_{зн.р} = \sum_{i=1}^m (T_{um.c} \cdot Z_c + T_{um.n} \cdot Z_n + T_{um.p} \cdot Z_p);$$

де $T_{um.c}$, $T_{um.n}$, $T_{um.p}$ – штучні часи складання, припасування і регулювання;

Z_c , Z_n , Z_p , заробітна плата за 1 хвилину робітника при виконанні відповідно складання, припасування, регулювання.

Заробітна плата налагоджувальників визначається за формулою

$$C_{зн.н} = \sum_{i=1}^{m_1} T_{n-3}^o \cdot Z_n$$

де T_{n-3}^o – підготовче–завершальний час, який витрачається на одну операцію одного виробу;

Z_n – заробітна плата налагоджувальника за 1 хвилину;

m_1 – кількість переналагоджувальних складальних операцій.

Витрати, які пов'язані з експлуатацією і амортизацією обладнання, визначаються за формулою

$$C_{об} = \sum_1^{m_2} S_M \cdot T_{шт} ;$$

де m_2 – кількість одиниць складального обладнання;

S_M – вартість однієї хвилини роботи складального обладнання.

Вартість S_M приблизно визначається за даними підприємства або розраховується за формулою

$$S_M = S_a + S_p + S_e + S_{ам.б} + S_{д.м} ;$$

де S_a – витрати на амортизацію обладнання;

S_p – витрати на ремонт обладнання;

S_e – витрати на електроенергію (стиснене повітря);

$S_{ам.б}$ – витрати на амортизацію будівлі, які віднесені до виробничої площі, зайнятої складальним обладнанням;

$S_{д.м.}$ – витрати на допоміжні матеріали.

Витрати на амортизацію обладнання визначаються за формулою

$$S_a = \frac{S_{об} \cdot a}{F} ;$$

де $S_{об}$ – балансова вартість обладнання;

a – частина амортизаційних відрахувань;

F – фонд роботи обладнання за 1 рік.

Витрати на ремонт обладнання визначаються за формулою

$$S_p = \sum_1^{m_2} K_{ТВ} \cdot C_M \cdot R_M \cdot T_{шт} ;$$

де $K_{ТВ}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва ($K_{ТВ} = 0,9; 1$ і $1,2$ – відповідно для одиничного, серійного і масового виробництв);

C_m – витрати на виконання малих ремонтів, оглядів та міжремонтне обслуговування обладнання першої категорії складності;

R_m – категорія складності ремонту обладнання.

Витрати на електроенергію визначаються за формулою

$$S_e = \sum_1^{m_2} \frac{N_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot S_{ec} \cdot T_{шт}}{60};$$

де N_y – встановлена потужність електродвигунів, кВт;

α і β – коефіцієнти використання встановленої потужності за часом та величиною ($\alpha \cdot \beta = 0,5 - 0,9$);

S_{ec} – вартість 1 кВт г електроенергії.

Витрати на стиснене повітря визначаються за формулою

$$S_n = \sum_1^{m_2} \frac{r_n \cdot S_{cn} \cdot T_o}{60};$$

де r_n – витрата повітря за 1 годину (середній), м³;

S_{cn} – вартість 1 м³ повітря.

Витрати на амортизацію будівлі визначаються за формулою

$$S_{ам.б} = \sum_1^{m_2} \frac{S_{ц} \cdot a_{ц} \cdot F_{об}}{F_{ц}};$$

де $S_{ц}$ – витрати на цехову будівлю;

$a_{ц}$ – частина амортизаційних відрахувань, %;

$F_{об}$ – площа, яку займає одна одиниця складального обладнання;

$F_{ц}$ – площа будівлі цеху.

Витрати на допоміжні матеріали визначаються за формулою

$$S_{д.м} = \sum_1^{m_2} \frac{D_p \cdot T_{шт}}{60 \cdot F};$$

де D_p – витрати на допоміжні матеріали на одиницю складального обладнання за 1 рік;

Критерій тривалості циклу складання для серійного (непотокового) виробництва з послідовною передачею визначають за формулою

$$T_u = \sum_1^m T_{шт} \cdot m + T_3 \cdot k + T_{тр} \cdot (2 \cdot k + 1);$$

де m – кількість операцій складання виробу;

T_3 – час зберігання партії виробів на проміжному складі;

k – кількість завантажень виробів на проміжний склад;

$T_{тр}$ – час транспортування партії виробів від складального стенда до складу (і зворотно);

$2k + 1$ – величина, яка додатково ураховує транспортування виробу на склад готової продукції (значення k у самому невігідному випадку дорівнює кількості операцій складання).

Тривалість циклу для серійного потокового виробництва при складанні n_n виробів із темпом t визначають за формулою

$$T_u = t \cdot (m + n_n)$$

Також до цих критеріїв відноситься кількість одиниць складального обладнання $k_{об}$, кількість складальників $k_{ск}$, середній розряд складальника та енергозабезпечення робочих місць складальників.

Відносні критерії представляють собою показники, що характеризують співвідношення або пропорції між різними параметрами виробничого процесу. Вони використовуються для порівняння ефективності різних варіантів складання з урахуванням взаємозв'язку таких факторів як продуктивність, витрати ресурсів, якість продукції та час виконання операцій. Відносні критерії дозволяють оцінити співвідношення витрат і результатів, що допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо вибору найбільш оптимальної технологічної та організаційної схеми виробництва.

Відносний критерій - коефіцієнт собівартості складального процесу визначається за формулою

$$K_{сб} = \frac{C_{сб}}{C_г};$$

де $C_{сб}$ – собівартість складання виробу;

$C_г$ – повна собівартість виготовлення виробу.

Відносні критерії - коефіцієнти завантаження робочих місць η_{zp} та потокової лінії η_{nl} визначаються за формулами:

$$\eta_{zp} = \frac{k_p}{k_n}; \quad \eta_{nl} = \sum_1^m \frac{\eta_{zp}}{n_l};$$

де k_p – розрахована кількість робочих місць на операції;

k_n – прийнята кількість робочих місць.

n_l – прийнята кількість робочих місць на лінії.

Прийнятні значення коефіцієнтів $\eta_{zp} = 0,9-0,95$, а $\eta_{zp} \geq 0,9$.

Відносний критерій - коефіцієнт розчленування складального процесу, який визначається за формулою:

$$k_{pc} = \frac{T_{cv}}{T_v};$$

де T_{cv} – трудомісткість вузлового складання;

T_v – трудомісткість складання виробу.

Відносний критерій - коефіцієнт досконалості складального процесу виробу визначається за формулою

$$k_{dc} = \frac{T_{cv} - T_{np}}{T_v};$$

де T_{np} – трудомісткість припасувальних робіт, розбирання і повторне складання виробу.

У масовому виробництві цей коефіцієнт дорівнює $0,95 \div 1,0$; у серійному виробництві – $0,8 \div 0,9$; в одиничному – $0,6 \div 0,8$.

Відносний критерій - показник рівня механізації та автоматизації процесу складання визначається за формулою

$$k_{ma} = \frac{T_m + T_a}{T_v};$$

де T_m і T_a – тривалість складання виробу на механізованих і автоматизованих операціях.

Відносний критерій - коефіцієнт пристосовування типових елементів складального обладнання визначається за формулою

$$k_{Te} = \frac{n_{Te}}{n_{зк}};$$

де n_{me} і n_{me} – кількість типових і загальна кількість елементів, які входять у конструкцію складального обладнання.

Відносний критерій - коефіцієнт мобільності обладнання, який характеризує швидкість його переналагодження для складання другої партії виробів, визначається за формулою

$$k_{mo} = \frac{1}{\left(1 + \Pi_{ц} \sum_{i=1}^{m_n} \frac{T_{npi}}{n_{np}}\right)};$$

де $\Pi_{ц}$ – циклова продуктивність обладнання, $хв^{-1}$;

T_{npi} – середня тривалість переналагодження i -го функціонального елемента обладнання, $хв$;

m_n – кількість виробів у партії;

n_{np} – кількість функціональних елементів обладнання, переналагодження яких не суміщені у часі.

Ці показники є основою для оцінки та вибору оптимальної організації складального процесу. Абсолютні критерії дають конкретні числові значення, які дозволяють безпосередньо порівнювати варіанти за такими показниками як продуктивність, собівартість та тривалість циклу. Відносні критерії, у свою чергу, забезпечують аналіз співвідношень між різними параметрами виробництва, що допомагає комплексно оцінити ефективність і прийняти найбільш раціональне рішення з урахуванням технологічних, економічних та виробничих аспектів. Разом ці критерії формують системний підхід до вибору найкращої технологічної схеми та організації виробництва.

3.4 Засоби підвищення продуктивності праці

Складальні роботи відіграють надзвичайно важливу роль у процесі виготовлення машин і обладнання. Їх питома вага в загальній трудомісткості виробництва становить від 10 до 60 відсотків, що свідчить про суттєвий

вплив цієї стадії на загальну ефективність виробництва. Складальні операції вимагають високої точності, послідовності дій та, у багатьох випадках, значних фізичних зусиль від виконавців. Саме тому одним із головних завдань технологічного проєктування є не лише забезпечення якості з'єднання деталей, а й оптимізація умов праці, зниження втомлюваності складальників, підвищення продуктивності та зменшення собівартості виробів.

Для досягнення цих цілей технологічний процес складання повинен проєктуватися з урахуванням низки ключових чинників. Насамперед важливо проаналізувати обсяг випуску продукції протягом певного проміжку часу, виходячи з незмінності конструктивної документації. Це дозволяє обґрунтовано визначити необхідний рівень механізації, автоматизації та спеціалізації процесів.

Другим важливим елементом є структура самого процесу складання, яка включає такі види робіт:

- комплектацію деталей та вузлів;
- транспортування складальних одиниць;
- точне взаємне позиціонування елементів;
- їхнє з'єднання механічними, зварювальними або клейовими методами;
- регулювання і припасування;
- закріплення (фіксація);
- випробування функціональних властивостей;
- очищення та фарбування готового виробу.

Залежно від характеру виробництва та конструктивних особливостей продукції, організація складального процесу може мати дві основні форми: стаціонарну або рухому.

У стаціонарній формі складання виріб залишається на одному робочому місці, а всі необхідні деталі, вузли й інструменти доставляються до нього. Такий підхід забезпечує зручність монтажу великих або важких конструкцій і зазвичай застосовується в одиничному та дрібносерійному

виробництві. Роботи виконуються на слюсарних верстаках, монтажних столах або спеціальних стендах, що забезпечують фіксацію виробу в зручному для роботи положенні.

У випадку рухомої організації складання виріб переміщується між окремими робочими постами або зонами, на кожному з яких виконується певна частина операцій. Для переміщення використовуються конвеєри, транспортні візки або автоматизовані лінії. Такий підхід характерний для серійного та масового виробництва й дозволяє значно знизити тривалість складання та підвищити його ритмічність. При цьому кожне робоче місце обладнується лише тим інструментом та оснащенням, які необхідні для конкретної операції.

Стаціонарне складання, у свою чергу, також має кілька реалізацій:

- на підлозі цеху без застосування спеціального обладнання;
- на універсальних або спеціалізованих стендах, які дозволяють фіксувати виріб у необхідному положенні;
- на складальних верстатах з можливістю обертання виробу для доступу до важкодоступних місць.

Для виконання складальних операцій застосовується широке коло технологічного обладнання. Наприклад, свердлильні верстати (особливо горизонтального типу) використовуються для обробки отворів та різьблення. Преси – для створення нероз’ємних з’єднань, наприклад, шляхом посадки з натягом. У разі використання заклепкових або скобових з’єднань застосовуються відповідні клепальні машини або пневматичні інструменти.

Важливим аспектом проектування складального процесу є вибір оснащення. Для цього враховується тип виробництва:

- у випадку одиничного чи дрібносерійного – доцільно використовувати універсальне устаткування;
- у серійному й великосерійному виробництві – доцільно впроваджувати спеціалізовані пристрої та механізований інструмент;

- у масовому виробництві – складальні операції максимально механізуються або автоматизуються.

З метою підвищення точності та продуктивності на окремих етапах також можуть використовуватись автоматизовані пристрої та маніпулятори, що розробляються на основі технологічних креслень і техніко-економічних розрахунків.

Після визначення типу організації складання, вибору обладнання та оснащення необхідно перейти до етапу нормування. Це включає визначення трудомісткості операцій, розрахунок тривалості виконання окремих складальних етапів та складання всього виробу в цілому. Ці дані є основою для подальших техніко-економічних розрахунків та оптимізації виробничого процесу загалом [3].

Запитання для самоконтролю

1. Які основні форми організації складального виробництва існують?
2. Чим відрізняється потокове, групове та непотокове складання?
3. Які особливості стаціонарного та рухомого складання?
4. Як формується групова форма складання, і які її переваги?
5. Які основні етапи технологічного процесу складання?
6. Які критерії оцінювання ефективності складальних процесів?
7. Як нормування складальних робіт впливає на продуктивність виробництва?
8. Які основні види нормування праці застосовуються у складальному виробництві?
9. Чим відрізняється аналітичний і дослідно–статистичний методи нормування?
10. Що таке основний, допоміжний, підготовче–завершальний та оперативний час у складальному виробництві?
11. Які технологічні карти використовуються для планування складального процесу?
12. Як вибір організаційної форми складання впливає на трудомісткість процесу?
13. Які засоби механізації та автоматизації застосовуються у складальному виробництві?
14. Які фактори визначають вибір складального обладнання та технологічної оснастки?
15. Як визначається собівартість складального процесу та її вплив на рентабельність виробництва?
16. Яким чином відбувається рух складальних виробів у різних організаційних формах складання?
17. Які особливості виконання складальних операцій у масовому та одиничному виробництві?
18. Яку роль відіграє контроль якості на етапі складання виробу?

Лекція №4. ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Поняття точності складання, її роль у забезпеченні якості, надійності та довговічності машин і механізмів;
- Фактори, що впливають на точність складання;
- Поняття розмірного ланцюга: призначення, структура, складові елементи, замикаюча ланка;
- Методи забезпечення точності складання;
- Види компенсаторів і принципи їх застосування;
- Переваги й обмеження використання компенсаторів у складанні;
- Принципи вибору компенсуючих елементів у розмірному ланцюгу;
- Порівняльна характеристика методів забезпечення точності складання;
- Види розрахунків розмірних ланцюгів:

Ключові слова: точність складання; похибка складання; розмірний ланцюг; замикаюча ланка; повна взаємозамінність; неповна взаємозамінність; групова взаємозамінність; припасування; регулювання; компенсатор; прокладка; ексцентрик; клин; пружина; зазор; натяг; метод розрахункової компенсації; допуск; граничні відхилення; номінальний розмір; метод максимуму і мінімуму; ймовірнісний метод; теоретичний розрахунок; виробничий розрахунок.

4.1 Точність складання і методи її досягнення

Рівень точності складання відіграє важливу роль у забезпеченні якості машин і механізмів, адже впливає на їхню надійність, довговічність та ефективність. Параметри, що визначають точність, встановлюються згідно з вимогами до функціонування елементів і виробу загалом [2].

Під точністю складання розуміють відповідність осей, поверхонь і інших елементів деталей їх теоретичним положенням згідно з кресленням або технічними вимогами [2]. Оцінюють точність за такими критеріями: точність відносного переміщення функціональних поверхонь, геометричних параметрів, відстаней між поверхнями та точність поворотних рухів. Чим нижча похибка, тим вища точність.

Похибка складання виникає внаслідок: відхилень у розмірах, формі, розташуванні поверхонь; дефектів обробки; неточностей фіксації; низької якості припасування; порушень технологічного процесу; похибок обладнання; неточностей налаштування; деформацій деталей через залишкові напруження. Якщо похибка перевищує допустимі значення, це знижує якість виробу.

Деталі у складанні можуть утворювати рухомі або нерухомі з'єднання. Рівень рухливості визначається за величинами зазорів і натягів. Відхилення розмірів деталей впливають на точність з'єднань, яку закладає конструктор, а забезпечує технологічний процес обробки та складання.

Для аналізу взаємозв'язку деталей застосовують розмірні ланцюги. Завдання розмірного аналізу наступні [2]:

- Встановлення номінальних розмірів і допусків складальних одиниць;
- Обґрунтування методів досягнення необхідної точності;
- Дослідження зв'язків між елементами виробу;
- Розробка послідовності комплектування.

Правильне виконання аналізу із використанням методів розрахунку дає змогу досягти необхідної точності. Виріб може бути зібраний за методом повної або неповної взаємозамінності.

Метод повної взаємозамінності застосовують у масовому та великосерійному виробництві [2]. Усі деталі виготовляють з малими допусками, що дає змогу складати без додаткових регулювань. Проте це потребує високоточних процесів і збільшує вартість обробки.

Метод неповної взаємозамінності використовують в одиничному та серійному виробництві [2]. Допуски на виготовлення розширені, а точність досягається у процесі складання. Метод економічніший, хоча потребує припасування або регулювання.

Основні способи реалізації методу неповної взаємозамінності:

- груповий підбір;
- регулювання;
- припасування;

Груповий підбір застосовується, коли технологічні допуски більші за конструктивні [2]. Деталі сортують за розмірами в групи для забезпечення відповідності параметрам з'єднання.

Регулювання полягає в коригуванні розмірів або положення компенсуючої ланки без зміни основних деталей [2]. Компенсатори поділяються на:

- нерухомі (прокладки, шайби, кільця);
- рухомі (клини, втулки, ексцентрики);
- пружні (пружини, гумові вставки, муфти).

Нерухомі компенсатори підбираються під час складання або комплектуються наборами прокладок. Рухомі дають змогу змінювати положення або розмір за допомогою механізмів, у тому числі автоматично. Пружні забезпечують гнучке регулювання під час роботи вузла.

За функціональністю компенсатори бувають:

- лінійні — для компенсації лінійних відхилень;
- кутові — для компенсації кутових відхилень.

За функціональним призначенням компенсатори поділяють на лінійні та кутові – залежно від типу відхилень, які вони компенсують. Приклади використання компенсаторів у різних механізмах представлено на рисунку 4.1 [2]:

- осьовий зазор у конічних роликів підшипниках регулюється шляхом додавання або вилучення прокладок (Рис. 4.1, а);

- радіальний зазор між валом і вкладишами підшипника ковзання коригується прокладками між корпусом і кришкою (Рис. 4.1, б);
- для налаштування зазору між зубчастими колесами використовують регулювальні кільця (Рис. 4.1, в);
- зазор між елементами клапанного механізму регулюють гвинтовими компенсаторами (Рис. 4.1, ж);
- радіальний зазор у розрізних втулках коригується їх осьовим переміщенням (Рис. 4.1, з);
- діаметральний зазор компенсується включенням у конструкцію еластичних елементів (Рис. 4.1, н).

Основними перевагами застосування компенсаторів у процесі складання є можливість виготовлення деталей із розширеними допусками, що знижує вартість механічної обробки, а також забезпечення необхідної точності складання не тільки на виробництві, але й у процесі подальшого обслуговування та ремонту виробу. Завдяки компенсаторам можна регулювати положення або розмір з'єднання вже після виготовлення основних деталей, що особливо важливо для виробів, які зазнають зміни геометрії під час експлуатації або потребують точного налаштування.

Однак застосування компенсаторів передбачає виконання додаткових складальних операцій, оскільки точне значення компенсації встановлюється тільки після попереднього складання й вимірювання параметрів з'єднань. Цей етап вимагає підвищеної точності вимірювальних процедур і кваліфікованого персоналу.

Для забезпечення надійного закріплення компенсаторів у заданому положенні конструкція виробу має передбачати спеціальні стопорні механізми. Серед них найчастіше використовують: гайки, гвинти, шпонки, клини, фіксатори або інші елементи, що запобігають мимовільному зміщенню компенсаторів під дією вібрацій чи навантажень під час експлуатації.

Таким чином, точність складання з використанням компенсаторів досягається завдяки регульованому переміщенню та надійному фіксуванню

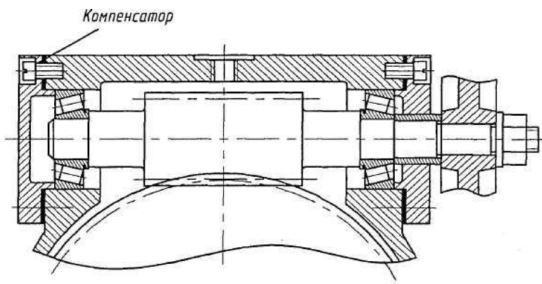
регулювальних елементів у межах конструкції виробу, що робить цей метод ефективним і гнучким в умовах одиничного та серійного виробництва.

Під час конструювання та складання виробів важливим завданням є правильне визначення місця та вибору компенсуючих елементів у розмірному ланцюгу. Компенсатори дають змогу усунути накопичені похибки, що виникають у результаті виготовлення або обробки окремих деталей, і тим самим забезпечити необхідну точність з'єднання.

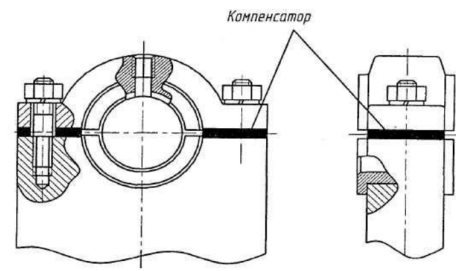
Перший принцип полягає в тому, що деталь, яка виконує функцію компенсації, має бути зручною для додаткової обробки. Зазвичай це елемент, зміну розмірів якого можна здійснити швидко і без значних витрат ресурсів. Наприклад, такими можуть бути прокладки, шайби або частини, які легко обробити вручну.

Другий принцип передбачає, що деталь не повинна одночасно входити до складу кількох розмірних ланцюгів. Якщо цей принцип порушено, відхилення можуть передаватися з одного ланцюга на інший, що ускладнює досягнення необхідної точності.

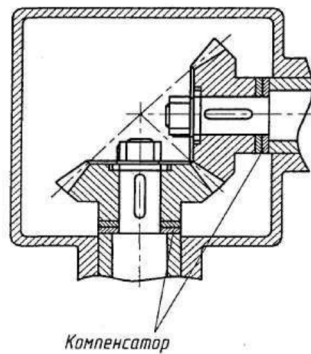
Також варто враховувати конструктивну доцільність застосування компенсатора. Він повинен бути легкодоступним для регулювання або заміни під час складання або обслуговування, без потреби розбирання значної частини виробу.



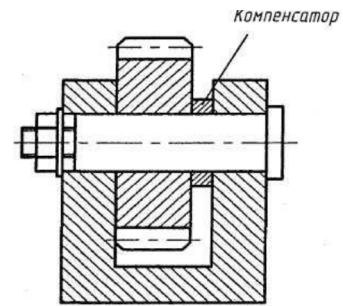
а) Регулювання осьового зазору кінцевого роликів підшипника



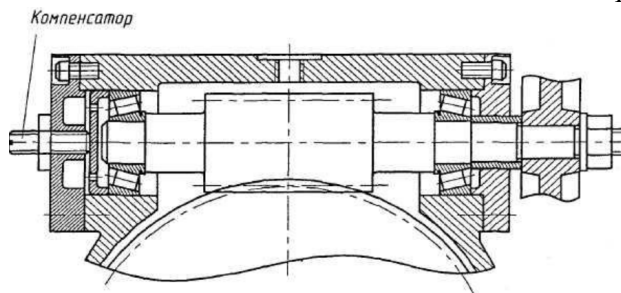
б) регулювання радіального зазору підшипника ковзання



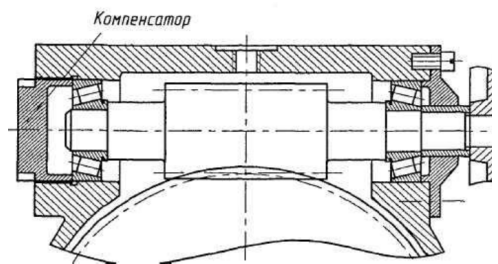
в) поєднання початкових конусів кінцевих зубчастих коліс



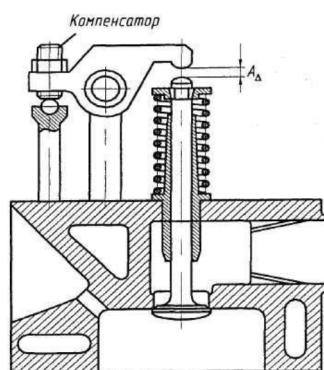
г) забезпечення осьового зазору між торцем зубчастого колеса і корпусом



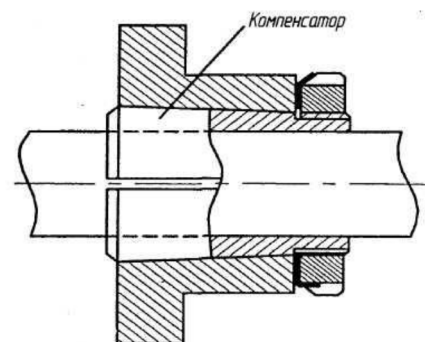
д) регулювання величини осьового зазору в кінцевих роликів підшипниках за допомогою гвинта



е) регулювання величини осьового зазору в кінцевих роликів підшипниках за допомогою гайки

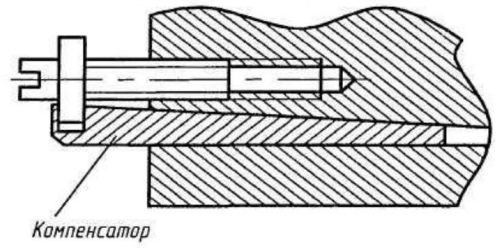
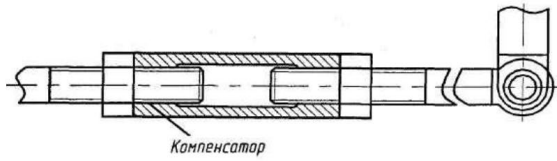


ж) регулювання зазору в клапанному механізмі



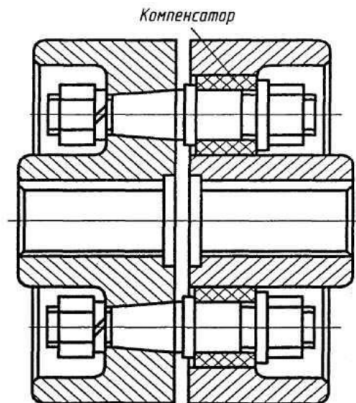
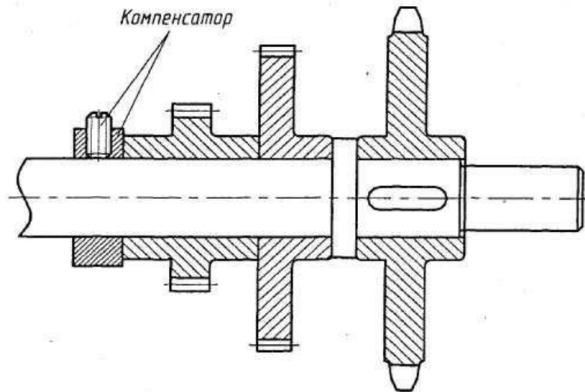
з) регулювання радіального зазору (натягу) за допомогою конусної розрізної втулки

Рис. 4.1. Способи регулювання зазорів і натягів



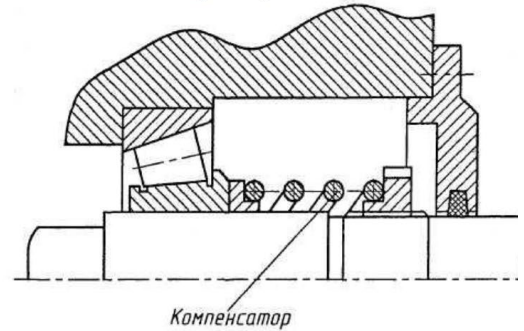
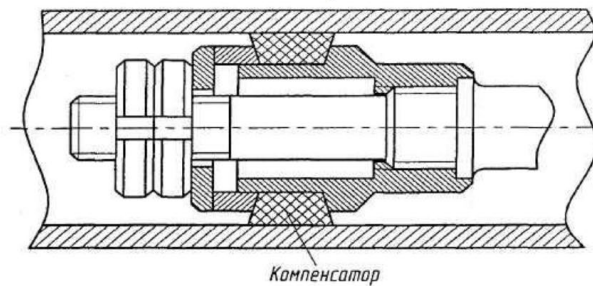
і) регулювання відстані між елементами конструкції за допомогою гайки

к) регулювання зазору (натягу) за допомогою клину



л) регулювання осьового зазору (натягу) за допомогою втулки і гвинта

м) компенсація перекосу осей валів



н) регулювання діаметрального зазору (натягу) за допомогою кільця з еластичного матеріалу

о) використання пружини в якості компенсатора

Рис. 4.1. (продовження) Способи регулювання зазорів і натягів

Компенсатор не має негативно впливати на міцність або функціональні властивості конструкції. Зміна його розмірів не повинна знижувати експлуатаційні характеристики виробу.

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва часто використовується метод припасування. Його суть полягає в індивідуальному підгонянні однієї деталі до іншої на основі фактично отриманих розмірів. Цей підхід дозволяє досягти високої точності без виготовлення повністю взаємозамінних деталей.

Метод припасування не вимагає високоточних засобів виготовлення, однак є трудомістким і вимагає досвіду від виконавців. У серійному виробництві він застосовується рідше, але може використовуватись у складальних операціях з підвищеними вимогами до точності або на завершальних етапах складання.

4.2 Основи розрахунку складальних розмірних ланцюгів

У технології складання існує кілька основних методів розрахунку розмірних ланцюгів, які дозволяють досягти необхідної точності з'єднань залежно від умов виробництва, конструктивних вимог та економічної доцільності. Згідно з положеннями ДСТУ ISO 286-1-2002 та ДСТУ 2500-94 методи поділяються на три основні групи, кожна з яких має свої особливості, сферу застосування та вимоги до точності виготовлення деталей (Табл.4.1).

Перший метод заснований на принципі повної взаємозамінності. Його застосовують у масовому або великосерійному виробництві, де важливо забезпечити точність складання без використання додаткових регулювальних або припасувальних операцій. Всі елементи розмірного ланцюга виготовляються з високою точністю та жорсткими допусками, що дозволяє одразу досягти потрібного положення складальних поверхонь.

Другий метод передбачає неповну взаємозамінність. Його використовують у серійному або дрібносерійному виробництві, коли виготовлення кожної деталі з високою точністю є економічно недоцільним. Необхідна

точність з'єднання в цьому випадку досягається завдяки впровадженню регулювальних або припасувальних операцій. До цієї групи належать три основні підходи. У першому варіанті здійснюється груповий підбір деталей. Вони сортуються за розмірами, після чого комплектуються в межах однієї групи так, щоб сумарна похибка не виходила за межі заданих значень. Другий варіант реалізується шляхом регулювання, яке передбачає зміну положення або розміру спеціального елемента, наприклад використанням прокладок або гвинтів. Третій варіант – це припасування, що передбачає індивідуальне підгоняння елементів шляхом механічної обробки в процесі складання.

Третя група охоплює метод розрахункової компенсації похибок. Його суть полягає в тому, що в розмірний ланцюг вводяться спеціальні компенсуючі елементи. Вони можуть мати змінний розмір або положення і тим самим дозволяють досягати необхідної точності навіть у складних умовах експлуатації. Компенсатори поділяються на кілька типів. Нерухомі компенсатори, такі як шайби або прокладки, змінюють загальну довжину ланцюга за рахунок підбору відповідного елемента. Рухомі компенсатори здатні змінювати своє положення під час складання, наприклад клини або ексцентрики. Пружинні компенсатори, як-от пружини чи еластичні вставки, компенсують відхилення за рахунок своєї деформації під навантаженням.

Метод розрахункової компенсації доцільно застосовувати у випадках, коли складальні вузли працюють у змінних температурних або механічних умовах, а також у динамічних системах. Вибір конкретного підходу залежить від виду виробництва, вимог до точності, вартості обробки та можливостей технічного оснащення підприємства. Для масового виробництва найбільш доцільним залишається метод повної взаємозамінності. Натомість у серійному й особливо одиничному виробництві частіше використовують методи неповної взаємозамінності або метод компенсації похибок.

Незважаючи на різноманітність видів розмірних ланцюгів, існує загальна послідовність методичних прийомів для їх виявлення та складання.

Спершу, виходячи з умов задачі, визначають замикаючу ланку розмірного ланцюга. У кожному ланцюзі допускається тільки одна така ланка.

Потім за кресленнями виробу та його деталей або за натурними зразками ідентифікують ті елементи, що впливають на значення замикаючої ланки. Важливо враховувати кожну деталь у ланцюзі лише одним розміром.

Наступний крок — визначення напрямку дії робочих і складальних навантажень, які впливають на взаємне розташування деталей та формування замикаючої ланки.

Далі виконують ескіз складових деталей і вузлів виробу, які визначають параметри замикаючої ланки. На цьому ескізі позначають контактні поверхні деталей, що виконують роль конструкторських баз, утворених під впливом робочих і складальних сил.

Формують схему розмірного ланцюга, де всі складові ланки разом із замикаючою утворюють замкнутий контур. Якщо присутні паралельні розміри, кожна деталь подається одним розміром.

Після цього всі ланки проєктують на заданий напрямок дії, внаслідок чого отримують рівняння основного розмірного ланцюга.

Визначають розміри всіх складових ланок безпосередньо за кресленнями або з допомогою похідних розмірних ланцюгів.

Підставляючи знайдені значення у рівняння, виконують остаточний розрахунок розмірного ланцюга.

Табл. 4.1. Методи розрахунку точності замикаючої ланки розмірного ланцюга, які застосовують під час складання (ДСТУ 2390–94, ДСТУ 2500–94, ДСТУ ГОСТ 2.307:2013) [1]

Метод	Сутність методу	Область застосування
Повної взаємозамінності	Метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається у всіх об'єктах шляхом врахування в ньому складових ланок без вибору, підбору або зміни їх значень	Використання економічно доцільно за умови досягнення високої точності при малій кількості ланок розмірного ланцюга і при достатньо великій кількості виробів, що збиратимуться
Неповної взаємозамінності	Метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається у наперед відомої частини об'єктів шляхом врахування в ньому складових ланок без вибору, підбору або зміни їх значень	Використання доцільно для досягнення точності в багатоланкових розмірних ланцюгах; допуски на складові ланки при цьому більші, ніж в попередньому методі, що підвищує економічність отримання складальних одиниць; в частини виробів похибка замикаючої ланки може перевищувати гранично допустиму, тобто присутній ризик отримати частину не складаних виробів
Групової взаємозамінності	Метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається шляхом включення в розмірний ланцюг складових ланок, що належать до однієї з груп, на які вони попередньо розсортовані	Застосовується для досягнення найбільш високої точності замикаючих ланок розмірних ланцюгів з малою кількістю ланок; вимагає чіткої організації сортування деталей на розмірні групи, їх маркування, зберігання і транспортування в спеціальній тарі
Припасування	Метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру компенсуючої ланки шляхом зняття з компенсатора певного шару матеріалу	Використовується при складанні виробів з великою кількістю ланок; деталі можуть бути виготовлені з економічно доцільними допусками, але необхідні додаткові витрати на припасування компенсатора; економічність суттєво залежить від правильного вибору компенсуючої ланки, яка не повинна належати декільком пов'язаним розмірним ланцюгам
Регулювання	Метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру або розташування компенсуючої ланки без видалення матеріалу з компенсатора досягається шляхом включення в розмірний ланцюг складових ланок, що належать до однієї з груп, на які вони попередньо розсортовані	Подібний до методу припасування, але має перевагу в тому, що під час складання не потрібно виконувати додаткові роботи пов'язані зі зняттям шару металу; забезпечує високу точність і дає можливість періодично її відновлювати в процесі експлуатації машини розмірних ланцюгів з малою кількістю ланок; вимагає чіткої організації сортування деталей на розмірні групи, їх маркування, зберігання і транспортування в спеціальній тарі

Розрахунок проводять згідно з обраним методом. Для методу повної взаємозамінності порядок розрахунку наступний:

- обирають спосіб визначення допусків. Для способу пробних розрахунків призначають економічно обґрунтовані допуски, граничні відхилення і розраховують середини полів допусків;
- проводять перевірку правильності допусків та, за потреби, коригують їх;
- якщо застосовують метод єдиного квалітету, визначають кількість одиниць допуску та відповідний квалітет. За цим призначають допуски і граничні відхилення всіх складових ланок, крім регулюючої;
- для регулюючої ланки встановлюють допуск, середину поля допуску та граничні відхилення.

Для методу неповної взаємозамінності:

- визначають відсоток ризику і довірчий інтервал, встановлюють коефіцієнти розсіювання та асиметрії;
- обирають спосіб визначення допусків: пробний розрахунок або метод єдиного квалітету;
- якщо застосовується пробний розрахунок, перевіряють допуски і граничні відхилення, а при необхідності виконують коригування;
- при виборі методу єдиного квалітету визначають кількість одиниць допуску, а регулюючу ланку обирають найбільшою за номінальним розміром;
- визначають допуск і граничні відхилення регулюючої ланки.

Для методу групової взаємозамінності розрахунок проводять у наступній послідовності:

- спочатку визначають конструкторські допуски для складових ланок за методом повної взаємозамінності;
- обчислюють граничні відхилення для всіх ланок;

- призначають виробничі допуски, помножуючи конструкторські допуски на певний коефіцієнт, і визначають кількість груп деталей;
- для кожної групи встановлюють граничні відхилення;

Метод припасування та регулювання:

- обирають тип компенсатора — рухомий або нерухомий;
- призначають економічно обґрунтовані допуски і граничні відхилення для всіх складових ланок;
- розраховують величину компенсації похибки замикаючої ланки;
- визначають необхідну компенсацію для коригування середини поля допуску;
- коригують номінальний розмір нерухомого компенсатора при методі припасування або виконують регулювання через зміну середини поля допуску.

Розрізняють два види розрахунків при зворотній задачі: теоретичний і виробничий.

Теоретичний розрахунок застосовують на етапі розробки нових виробів. Він передбачає визначення замикаючої та складових ланок, встановлення номінальних розмірів, допусків і граничних відхилень. Обирають метод розрахунку — метод максимуму і мінімуму або ймовірнісний метод. Визначають номінальний розмір, допуск і координати середини поля допуску замикаючої ланки.

Виробничий розрахунок використовується для контролю точності виробів у виробничому процесі. Він має ту саму послідовність дій, що і теоретичний. При застосуванні ймовірнісного методу визначають статистичні коефіцієнти розсіювання, порівнюють результати з теоретичними розрахунками та при необхідності проводять коригування.

Цей структурований підхід забезпечує точність і надійність конструкцій, оптимізуючи виробничі процеси відповідно до вимог ДСТУ.

Запитання для самоконтролю

1. Які основні етапи визначення та складання розмірних ланцюгів?
2. Як визначається замикаюча ланка в розмірному ланцюзі?
3. Яким чином визначаються складові ланки розмірного ланцюга?
4. У чому полягає принцип побудови схеми розмірного ланцюга?
5. Які існують методи розрахунку розмірних ланцюгів?
6. Як впливає спосіб складання на точність розмірного ланцюга?
7. Які особливості розрахунку розмірних ланцюгів у прямій та зворотній задачах?
8. У чому різниця між методом повної та неповної взаємозамінності?
9. Як застосовується ймовірнісний метод у розрахунку розмірних ланцюгів?
10. Які чинники можуть впливати на відхилення в розмірному ланцюзі під час виробництва?
11. Як вибір регулюючої ланки впливає на кінцевий результат розрахунку?
12. Чому метод припасування і регулювання вважається економічно ефективним у певних випадках?
13. Які параметри необхідно враховувати при виборі методу розрахунку розмірних ланцюгів?

Лекція №5. КЛАСИФІКАЦІЯ З'ЄДНАНЬ В МАШИНОБУДУВАННІ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Призначення з'єднань у машинобудуванні;
- Критерії класифікації з'єднань;
- Поділ з'єднань за можливістю розбирання;
- Класифікація за можливістю відносного руху деталей;
- Класифікація за формою сполучених поверхонь;
- Узгодження конструкторських і технологічних підходів до класифікації;
- Класифікація за фізичним принципом дії;
- Геометричне замикання деталей;
- З'єднання з пружними деформаціями;
- З'єднання з натягом і пластичним деформуванням;
- З'єднання, що діють за рахунок взаємодії полів;
- З'єднання, що діють за рахунок молекулярної взаємодії;
- Класифікація за принципом реалізації;
- Силевий, термічний і випромінювальний методи створення з'єднань;
- Вплив класифікації на проектування й технологічний процес.

Ключові слова: з'єднання, класифікація, рознімні, нерознімні, рухомі, нерухомі, геометричне замикання, пружна деформація, натяг, пластична деформація, міжмолекулярна взаємодія, клейові, зварні, паяні, силевий метод, термічний метод, метод випромінювання, фізичний принцип дії, принцип реалізації, технологічний процес.

5.1 Варіанти класифікації з'єднань за різними критеріями

У машинобудуванні з'єднання деталей забезпечують не лише цілісність конструкції, а й її міцність, надійність, точність та можливість ремонту. Саме завдяки правильному вибору способу з'єднання формується баланс між довговічністю, ремонтпридатністю та функціональністю виробу. При виборі типу з'єднання враховують умови експлуатації, властивості матеріалів, вимоги до точності та допустимі технологічні операції.

У практиці розрізняють кілька способів класифікації з'єднань залежно від їхніх характеристик і мети застосування [2]. Перша група класифікації ґрунтується на збереженні цілісності після розбирання. Роз'ємні з'єднання дозволяють багаторазове розбирання без пошкодження деталей, прикладом є різьбові, клинові, штифтові, шпонкові, шліцьові та стопорні. Нероз'ємні з'єднання після демонтажу втрачають свою придатність, до них належать з'єднання з натягом, вальцьовані, клепані, зварні, паяні та клеєні.

Друга ознака класифікації — можливість відносного руху деталей [2]. Рухомі з'єднання забезпечують переміщення деталей одна відносно одної, тоді як нерухомі фіксують їх у стабільному положенні.

Третій підхід пов'язаний з формою сполучених поверхонь [2]. Тут виділяють плоскі, циліндричні, конічні, сферичні, гвинтові та профільні поверхні. Така класифікація зосереджується на конструктивних особливостях, а не на фізичному принципі дії, хоча саме принцип дії безпосередньо впливає на вибір технологічного обладнання. Наприклад, шпонкові, штифтові та шліцьові з'єднання можуть бути як жорсткими (з натягом), так і кінематичними (допускати рух), залежно від типу посадки.

З погляду проектування технологічного процесу класифікація з'єднань (рис. 5.1) може бути розширена за даними [6]. Вона включає поділ за фізичним принципом дії, що визначається конструктором і є характеристикою вузла, а також за фізичним (технологічним) принципом реалізації, який залежить від можливостей виробничого обладнання і визначається технологом.

Така систематизація дозволяє узгоджувати конструкторські та технологічні рішення, забезпечуючи оптимальний баланс між вимогами до експлуатаційних характеристик виробу та ресурсами, доступними у виробництві.

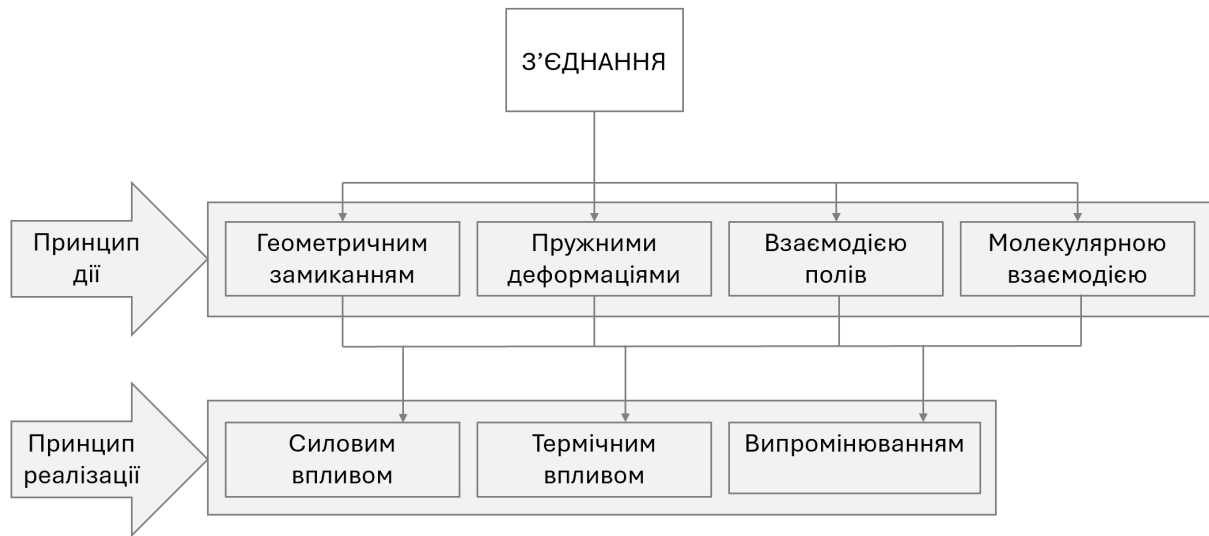


Рис. 5.1. Класифікація з'єднань за фізичними принципами дії та реалізації [6]

5.2 Класифікація з'єднань за фізичним принципом дії

До цієї групи належать конструкції, у яких фіксація елементів забезпечується їхньою геометричною формою. До таких типів можна віднести різьбові, заклепкові, вальцьовані з'єднання, стопорні шайби із загнутими сегментами, зовнішні та внутрішні стопорні кільця, а також механізми засувного типу.

5.2.1 З'єднання геометричним замиканням

Різьбові з'єднання формуються шляхом використання болтів, гайок, гвинтів, шпильок, установочних гвинтів, анкерних болтів, різьбових вставок та гвинтів–саморізів. Вони належать до категорії рознімних з'єднань, що дають змогу багаторазово їх розбирати та збирати, за винятком гвинтів–саморізів. Такі з'єднання можуть застосовуватися для скріплення двох або кількох деталей (Рис. 5.2).

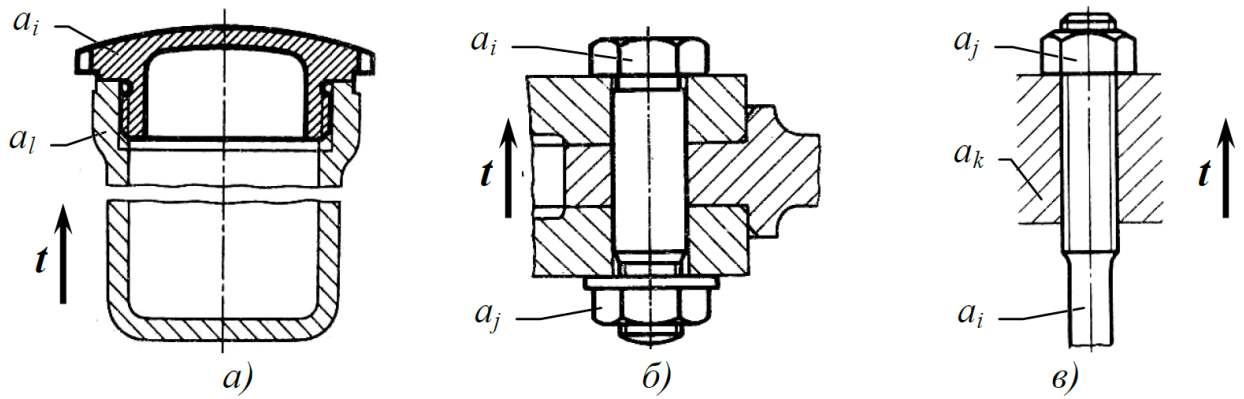


Рис. 5.2. Різновиди утворення різбових з'єднань: а – між двома деталями; б – пакету деталей; в – трьома деталями [6]

5.2.2 З'єднання з пружними деформаціями

Основна особливість цього типу з'єднань – зміна форми однієї або кількох деталей при складанні. В результаті кожен елемент з'єднання має два стани: до монтажу і після нього [6].

У машинобудуванні такі з'єднання реалізуються за допомогою стопорних кілець (внутрішніх, зовнішніх з осьовою або радіальною фіксацією, храпових механізмів) та заскочок (фіксаторів). Вони характеризуються значним конструктивним розмаїттям (Рис. 5.3). Перевага цих з'єднань – легкість монтажу, але їхні складові можуть бути складними у виготовленні.

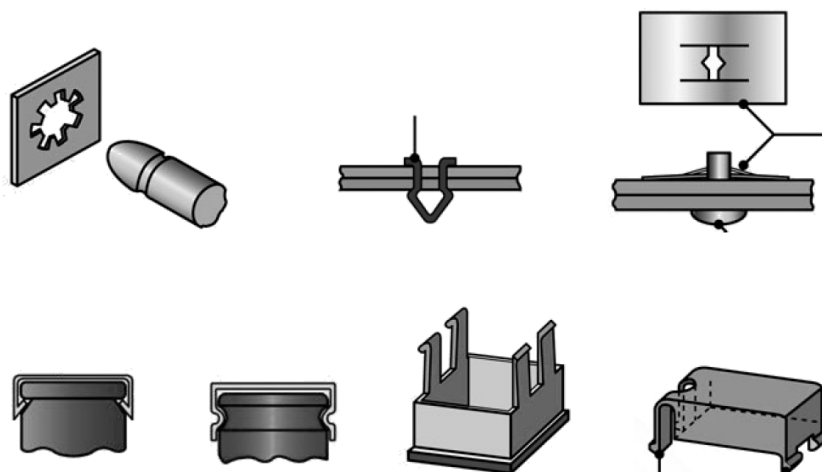


Рис. 5.3. Конструктивні різновиди з'єднання з пружними деталями [6]

Заклепкові з'єднання. Різні варіанти заклепкових з'єднань наведені на рис. 5.4.

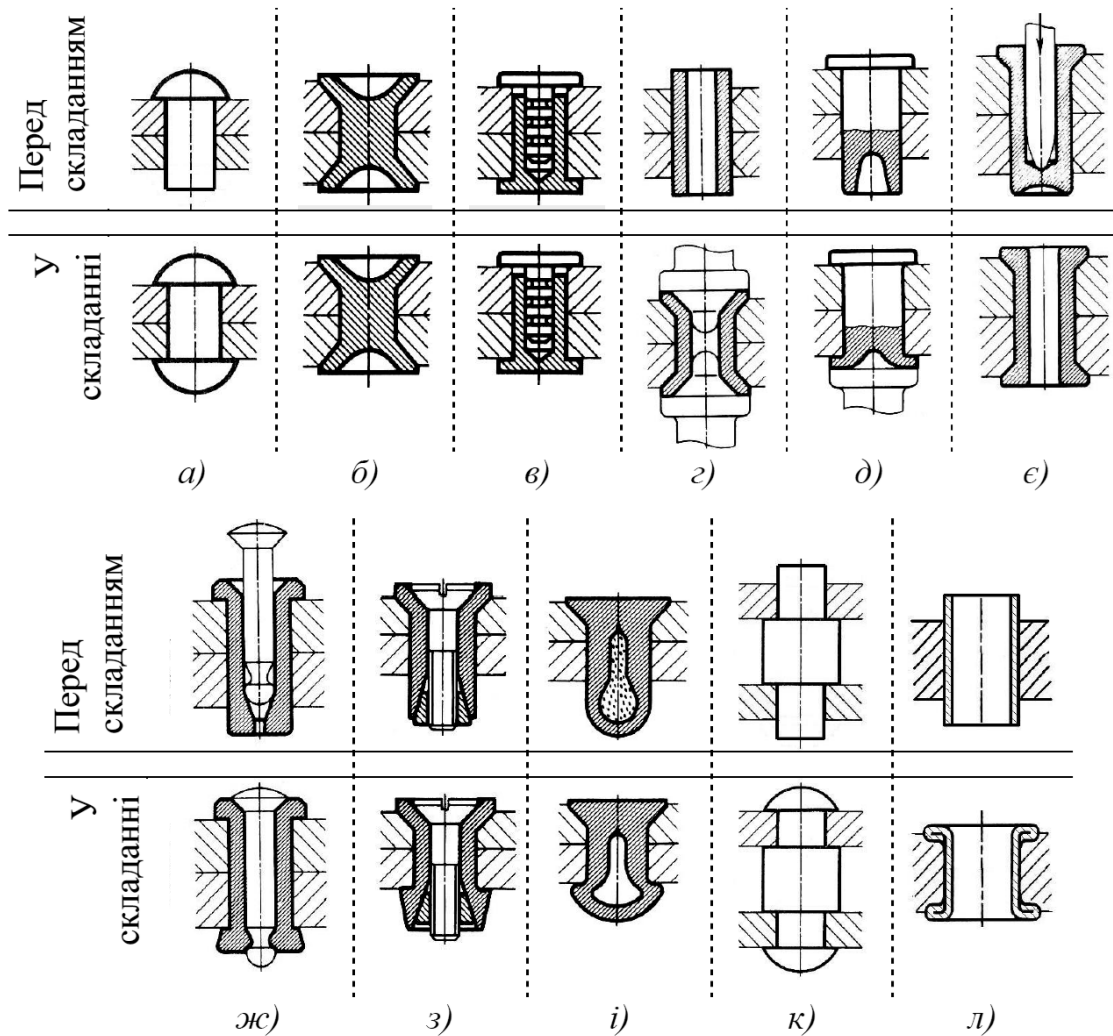


Рис. 5.4. Заклепкові з'єднання: а – зі сферичною головою; б – із заглибленням; в – з пуансоном; г – трубчасті; д – з піднутренням; е – закладна трубчаста; жс – закладна з пуансоном; з – закладна з гайкою; і – закладна із зарядом; к – дистанційна; л – пістон [6]

З'єднання іншими деталями, що деформуються. Цей тип з'єднань утворюється за рахунок пластичної деформації однієї або кількох деталей. Види конструктивної реалізації таких з'єднань наведені на рис. 5.5.

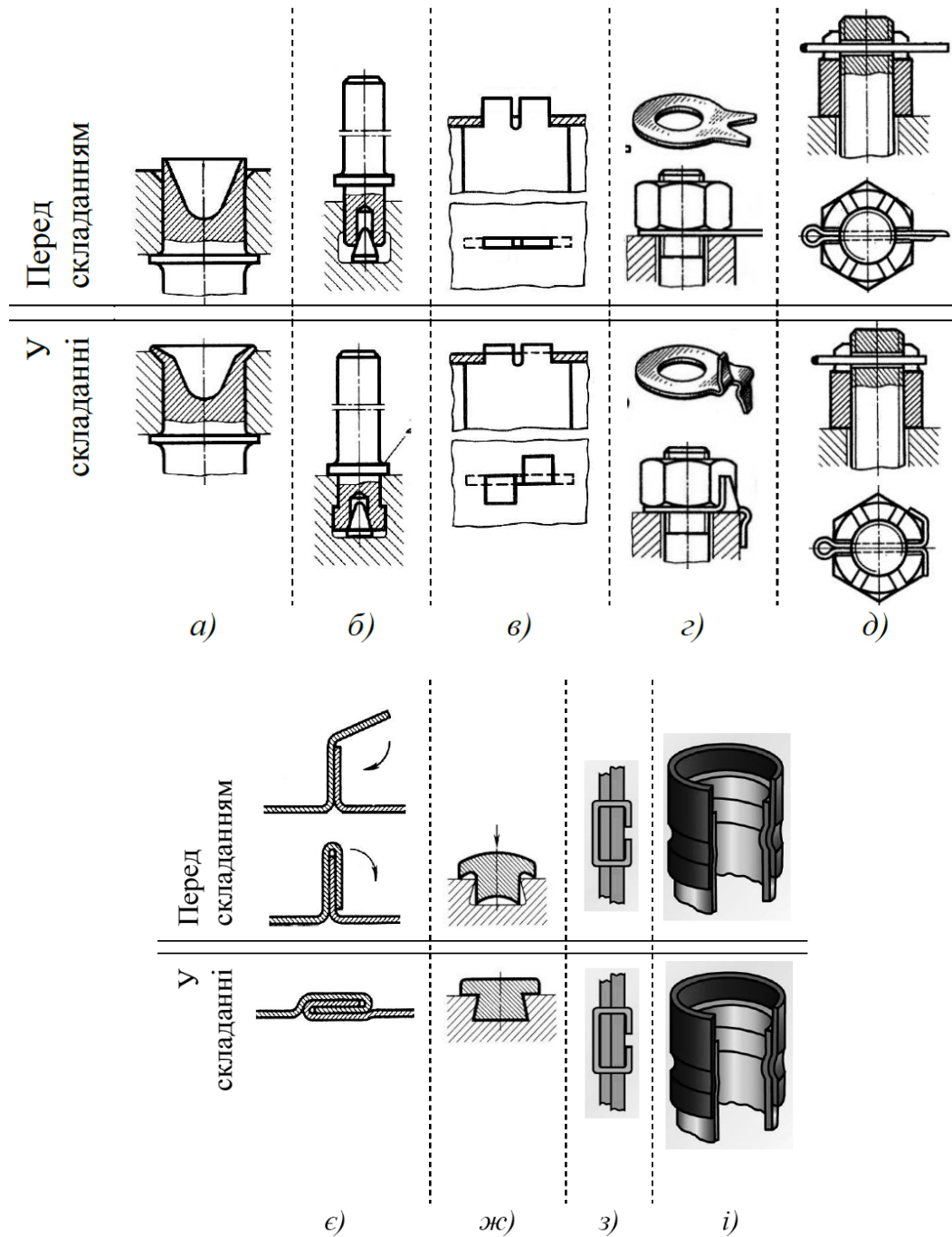


Рис. 5.5. Отримання з'єднань з пластичним деформуванням деталей: а – вальцюванням; б – кернуванням; в – відгинанням лапок в пластинах; Г – відгинанням лапок в кільцях; д – шпінтуванням; е – фальцюванням; ж – пуклюванням; з – скобами; і – гофруванням [6]

До цієї групи входять як з'єднання, що формуються між двома деталями (Рис. 5.5, а, б, ж) так і ті, що можуть об'єднувати декілька елементів (Рис. 5.5, в, г, д, е, з, і) [6].

З'єднання з натягом можуть бути циліндричними (перешкоджають осьовому та обертальному руху) або профільними (фіксуються завдяки формі профілю, що унеможливорює обертання) (Рис. 5.6).

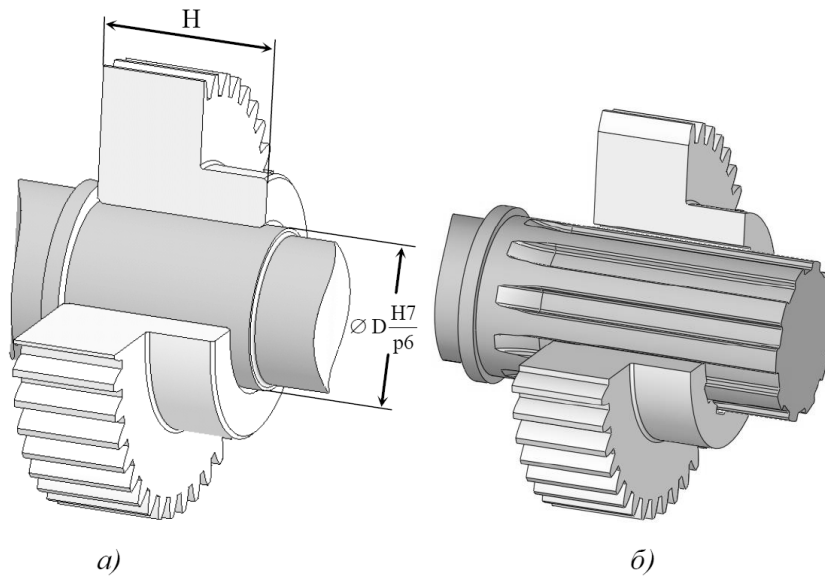


Рис. 5.6. З'єднання, що діють за рахунок пружних деформацій: а – циліндричне; б – профільне [6]

5.2.3 З'єднання, що діють за рахунок взаємодії полів

Такі з'єднання базуються на дії постійного фізичного поля (гравітаційного, електромагнітного), що забезпечує фіксацію деталей без механічного контакту. Це дозволяє швидко роз'єднувати компоненти при необхідності (Рис. 5.7). Специфіка такого з'єднання полягає в необов'язковому контакті двох або більшої кількості деталей, які піддаються впливу поля.



Рис. 5.7. Приклад магнітного з'єднання [6]

Використовуються у випадках, коли необхідно часто і швидко роз'єднати елементи з'єднання.

5.2.4 З'єднання, що діють за рахунок молекулярної взаємодії

До цієї групи входять клейові, зварні (Рис. 5.8), паяні з'єднання, а також ті, що створюються методами пошарового нарощування у процесі швидкого прототипування, або за допомогою мікро– та нанотехнологій.

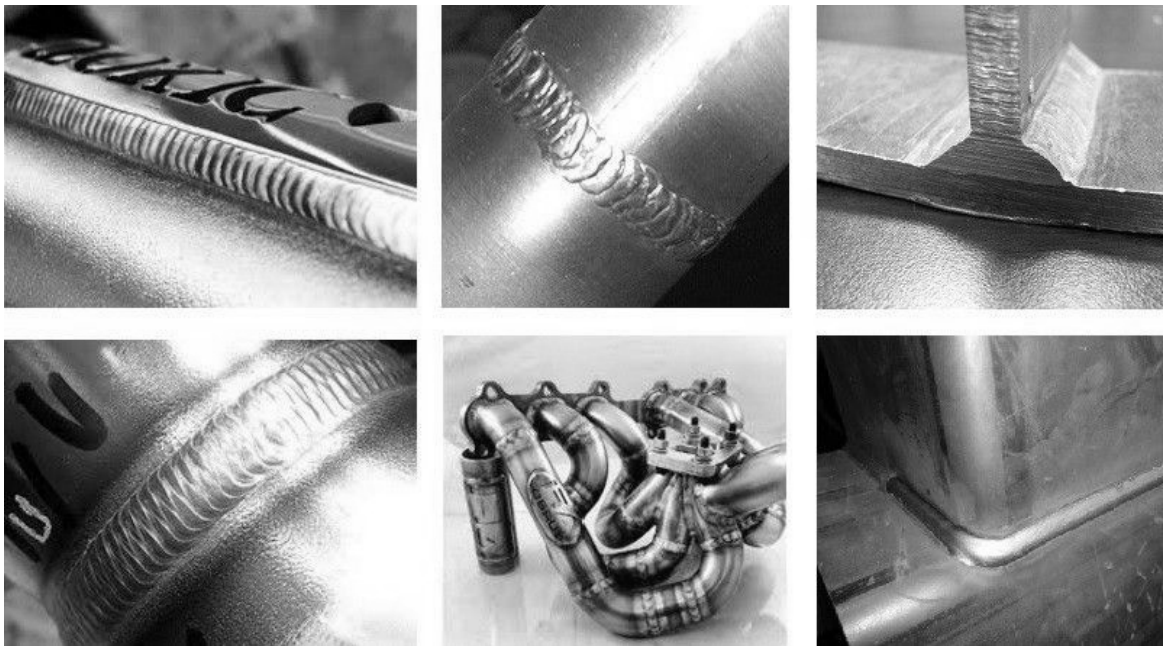


Рис. 5.8. Приклади зварного з'єднання

5.3 Класифікація з'єднань за принципом реалізації

Вибір методу реалізації з'єднання визначається фізичним принципом його функціонування, що впливає на вибір обладнання. Різні методи можуть комбінуватися між собою.

Силовий метод передбачає використання механічної роботи для створення з'єднання. Наприклад, пресування забезпечує необхідні сили тертя, вальцювання призводить до пластичної деформації, а прикладання сили дозволяє встановлювати стопорні кільця або заскочки. Також силовий вплив може сприяти утворенню міжмолекулярних зв'язків [6].

Термічний метод базується на нагріванні чи охолодженні деталей. Це може сприяти утворенню тертя (в з'єднаннях із натягом), пластичній

деформації, пружним деформаціям (ефект пам'яті форми) або міжмолекулярним взаємодіям (адгезійні, зварні та паяні з'єднання) [6].

Метод випромінювання використовує енергетичний пучок (світловий, електромагнітний, звуковий) для створення необхідних деформацій або міжмолекулярних зв'язків між деталями [6].

Запитання для самоконтролю

1. Які види з'єднань розрізняють за збереженням цілісності після розкладання?
2. Які форми поверхонь можуть бути у з'єднаннях?
3. До яких типів відносяться різьбові з'єднання та які їх основні особливості?
4. Що є характерною особливістю з'єднань, що діють за рахунок пластичного деформування деталей?
5. Як класифікуються з'єднання за фізичним принципом дії та реалізації?
6. У яких випадках використовуються з'єднання, що діють за рахунок взаємодії полів, і яка їх специфіка?
7. Які переваги та недоліки мають з'єднання з пружними деформаціями?
8. Чим відрізняються циліндричні та профільні з'єднання з натягом?
9. Як впливає термічний вплив на механічні властивості з'єднання?
10. Які фактори слід враховувати при виборі типу з'єднання для конкретної конструкції?

Лекція №6. ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ З'ЄДНАНЬ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Похибки складальних процесів і причини їх виникнення;
- Види контролю у складальному виробництві;
- Вхідний, операційний і приймальний контроль;
- Поділ контролю за часом здійснення: летючий, безперервний, періодичний;
- Контроль за охопленням продукції: суцільний, вибірковий, статистичний;
- Вимірювальний та органолептичний контроль;
- Активний і пасивний контроль у складальних процесах;
- Стаціонарний та рухомий контроль;
- Ступінь механізації контролю: ручний, механізований, автоматизований, автоматичний;
- Етапи розроблення процесів технічного контролю;
- Критерії вибору методів і засобів контролю;
- Типові схеми контролю з'єднань і геометричних параметрів виробів;
- Методи вимірювання: прямого визначення та порівняння;
- Види методів порівняння: протиставлення, диференціальний, нульовий, заміщення, збігів;
- Роль контролю у забезпеченні якості складальних виробів.

Ключові слова: контроль, похибки складання, точність, вхідний контроль, операційний контроль, приймальний контроль, летючий контроль, безперервний контроль, періодичний контроль, вибірковий контроль, статистичний контроль, органолептичний метод, вимірювальний метод, активний контроль, пасивний контроль, стаціонарний контроль, рухомий контроль,

технічний контроль, метод порівняння, нульовий метод, метод заміщення, метод збігів, технологічний процес складання, якість з'єднань.

6.1 Похибки складальних процесів

Відхилення у замикальних ланках РЛ–виробів можуть виникати з різних причин [3, 7]:

- неточності, що виникають під час розташування та закріплення деталей у досягнутому положенні;
- помилки при налаштуванні калібрів та вимірювальних пристроїв;
- похибки під час регулювання, припасування та перевірки точності положення деталей у конструкції;
- недосконалість вимірювальних засобів;
- зміщення деталей у проміжку між їх встановленням у потрібне положення та остаточною фіксацією;
- наявність сторонніх частинок, таких як пил, стружка або бруд у місцях з'єднання деталей;
- формування задирок на поверхнях стикування елементів.

6.2 Види контролю

Під час складання виробів перевіряють точність взаємного розміщення складальних деталей та вузлів у виробі, наявність деталей, пристроїв, накопичувачів, лотоків тощо, а також точність відносного розміщення складальних деталей на позиціях складання [3]. Контролюють зазори і натяги у з'єднаннях, зусилля затягнення нарізних з'єднань, щільність та якість заклепування, зусилля запресованих деталей, герметичність з'єднань, правильне функціонування складальних частин виробів, включаючи легкість та швидкість обертання, точність переміщень і якість контакту. Також перевіряють зрівноваженість деталей і вузлів у виробі, зовнішній вигляд виробів, виявлення ризиків, забоїв, корозії, окалини, забруднених поверхонь деталей. Контролюють

хитання деталей, легкість руху, шум зубчастих коліс, що здійснюється складальниками і контролерами на контрольних місцях [3].

Під час складання також контролюють послідовність операцій та переходів, зокрема порядок затягнення нарізних з'єднань, послідовність накладання зварних швів, виконання допоміжних операцій, таких як промивання, очищення, сушіння, нагрівання, охолодження, а також правильне функціонування складального обладнання та оснащення [3].

Таким чином, основним завданням проєктування технології складання виробів є раціональний вибір методів та засобів контролю, організаційно-технічних форм його проведення для забезпечення потрібної якості складальних виробів. Для контролювання якості складання застосовують різні види контролю (Рис. 6.1) [3].

Контроль якості у процесі складання виробів здійснюється з урахуванням різних аспектів. Відповідно до специфіки об'єкта контролю він може бути спрямований на оцінку якості продукції, контроль параметрів технологічного процесу, перевірку технологічного оснащення, аналіз відповідності документації чи дотримання технологічної дисципліни [3].

На різних етапах виробництва застосовують вхідний, операційний та приймальний контроль. Під час вхідного контролю аналізують комплектуючі деталі, які постачаються від інших виробництв або партнерів. Операційний контроль спрямований на перевірку параметрів складальних виробів та процесу їх складання як у ході виконання операцій, так і після їх завершення. Завершальним етапом є приймальний контроль, за результатами якого визначають відповідність виробу встановленим вимогам та ухвалюють рішення про можливість його подальшого використання чи постачання [3].

Залежно від часу здійснення контроль може бути летучим, безперервним або періодичним. Летучий контроль передбачає випадкові перевірки без попередження безпосередньо під час складання. Безперервний контроль здійснюється постійно протягом технологічного процесу, що дозволяє оперативно реагувати на зміни контрольованих параметрів. Його зазвичай

реалізують за допомогою автоматичних або напівавтоматичних систем. Періодичний контроль проводять через встановлені часові інтервали, особливо у стабільному виробництві, де технологічні процеси добре відпрацьовані [3].

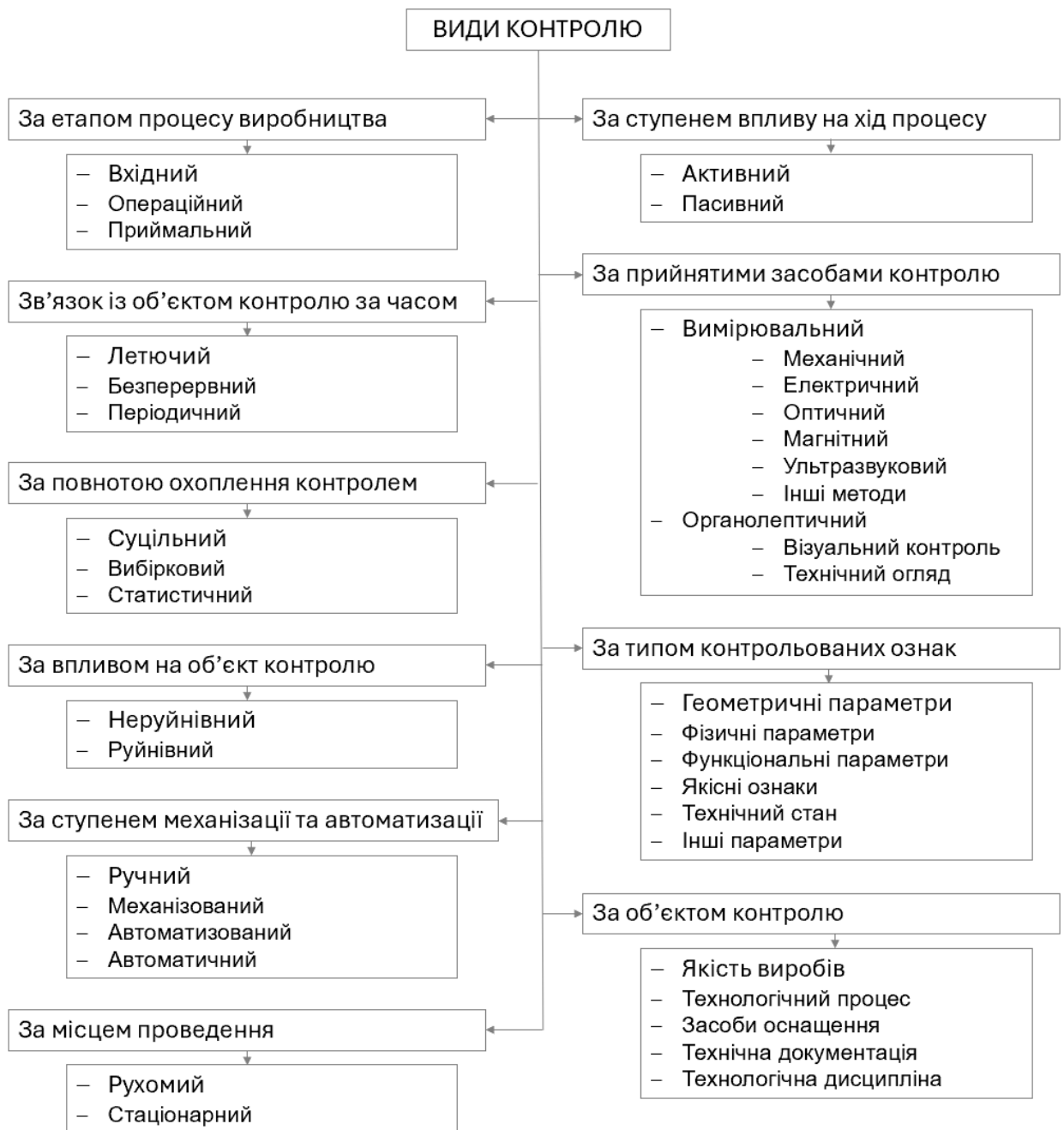


Рис. 6.1. Класифікація видів контролю, які використовуються у складальному виробництві [3]

Відповідно до охоплення продукції контроль поділяється на суцільний, вибірковий і статистичний. Суцільна перевірка передбачає контроль усіх виробів, що особливо важливо у випадках високих вимог до якості та неможливості випробувань на наступних етапах. Однак у масовому виробництві це

може суттєво підвищувати витрати, що робить виправданим застосування вибіркового контролю. Його здійснюють шляхом аналізу окремих партій продукції, що дозволяє оцінити загальну якість без перевірки кожного виробу. Статистичний контроль використовують на основі методів математичної статистики [3].

За способом виконання розрізняють вимірювальний та органолептичний контроль. У першому випадку використовуються прилади й інструменти для оцінки параметрів продукції, включаючи механічні, електричні, оптичні, магнітні, ультразвукові та інші методи вимірювання. Органолептичний контроль ґрунтується на суб'єктивних відчуттях людини, таких як зір, слух чи дотик. До нього належить, зокрема, візуальний контроль та технічний огляд виробу [3].

Контроль також розрізняють за рівнем впливу на процес складання. Активний контроль спрямований на попередження дефектів та передбачає постійний моніторинг параметрів, наприклад, контроль зусилля пресування або моменту затягування нарізних з'єднань. Пасивний контроль проводиться після завершення операцій і не використовується для регулювання процесу. Його застосовують для перевірки готових складальних одиниць, оцінки критично важливих вузлів і сортування деталей перед складанням [3].

За місцем проведення контроль може бути рухомих або стаціонарним. Рухомий контроль здійснюється безпосередньо на робочому місці складання, що зручно для великих виробів, які складно транспортувати. Для цього використовують портативні засоби контролю. Стаціонарний контроль проводять на спеціально обладнаних робочих місцях, які оснащені необхідними пристроями для перевірки якості продукції [3].

Оцінку якості виконують за геометричними, фізичними, функціональними та іншими параметрами, включаючи контроль за технологічним процесом, засобами оснащення, документацією та дотриманням дисципліни. Відповідно до ступеня механізації контроль може бути ручним, механізованим, автоматизованим чи автоматичним. При ручному контролі перевірка

здійснюється без додаткових пристроїв, механізований контроль передбачає використання спеціальних приладів, а автоматизований та автоматичний – застосування відповідних систем із мінімальним або повним виключенням людської участі [3].

Технічний контроль у складанні реалізують у вигляді спеціально розробленого процесу, що включає низку операцій. Такий процес створюється для всіх етапів контролю: вхідного, операційного та приймального. Вибір найбільш оптимального варіанту контролю здійснюється на основі аналізу економічної ефективності. Для цього розробляють технологічні паспорти, журнали контролю та іншу документацію [3].

Процеси технічного контролю розробляють одночасно з технологічними процесами складання. Вони повинні враховувати єдність конструкторських, технологічних та вимірювальних баз, а також забезпечувати можливість регулювання технологічного процесу. Важливо не допустити потрапляння дефектних виробів на наступні етапи виробництва. Всі операції контролю реєструють у відповідній документації, яка проходить метрологічну експертизу [3].

Розробка процесів контролю передбачає декілька основних етапів:

1. Аналіз вихідних матеріалів, зокрема конструкторської та технологічної документації, нормативних інструкцій та передових методів контролю.
2. Визначення об'єктів контролю, їх класифікація та групування.
3. Формування комплексного об'єкта контролю та розробка пропозицій щодо уніфікації складальних елементів.
4. Вибір типового чи аналогічного процесу технічного контролю.
5. Створення технологічного маршруту для проведення контролю.
6. Визначення контрольованих параметрів, що підлягають перевірці.
7. Розробка технологічних операцій контролю.
8. Вибір схем контролю та визначення контрольних точок.
9. Підбір методів і засобів контролю.

10. Оцінка точності, продуктивності та економічної ефективності різних варіантів контролю.

11. Оформлення документації відповідно до чинних стандартів.

12. Створення журналів контролю та технологічних паспортів [3].

Відповідно до потреб виробництва можливе включення додаткових етапів або спрощення деяких процедур. Усе це визначається розробником або встановлюється внутрішніми стандартами підприємства [3].

6.3 Типові схеми контролю з'єднань та геометричних параметрів виробів

Завершальним етапом технологічного процесу виготовлення продукції є її складання. Саме на цьому етапі можна виявити та усунути дефектні деталі або вузли, що потрапили в цех, запобігаючи випуску браку [1]. У процесі складання в машинобудуванні можливе виникнення двох типів браку: остаточного і виправного. Остаточний брак означає, що виправлення дефектів у складальній одиниці неможливе, а певні її компоненти є непридатними для подальшого використання. Натомість виправний брак підлягає усуненню, після чого продукція відповідає встановленим технічним вимогам. Під час конвеєрного виробництва виправлення дефектів відбувається на окремих робочих зонах, розташованих поряд із основною лінією. Машини, що мають відхилення, знімають з конвеєра за допомогою підйомно-транспортного обладнання, переміщують на спеціальну ділянку, а після усунення недоліків повертають у виробничий процес.

Контроль якості у складальному цеху здійснюють під час виконання робіт та після їх завершення. Головну відповідальність за якість несе сам виконавець – він здійснює самоконтроль. Більшість параметрів оцінюють без додаткової перевірки. Водночас деякі операції потребують спеціального обладнання або значного часу для аналізу, тому вони виділяються як окремі контрольні процедури. Під час розроблення технологічного процесу складання передбачають окремі робочі місця для контролерів, які здійснюють перевірку

на критичних етапах. Їхній темп роботи узгоджений із швидкістю руху конвеєра. Якщо контроль займає мало часу, один працівник може охоплювати кілька позицій та виконувати епізодичний (летючий) контроль.

Залежно від складності та значущості виробу контроль може охоплювати всю продукцію або її частину. Усі перевірки виконуються згідно з технологічними картами, які визначають методику, послідовність дій, а також використовуване обладнання та інструменти [1].

У маршрутному технологічному процесі зазначають перелік параметрів та етапи їх перевірки. Під час вузлового та загального складання контролюють наступні характеристики [1]:

- наявність усіх необхідних деталей у складальному вузлі (візуальний огляд);
- правильність розташування сполучених елементів (візуальний контроль);
- зазори у з'єднаннях (використовуються щупи, індикатори тощо);
- точність взаємного розташування деталей (перевіряється на спеціальних стендах за радіальним та осьовим биттям);
- герметичність сполучень (випробування у спеціальних пристроях) та якість фарбового покриття;
- міцність та якість різьбових, заклепкових, вальцьованих та інших з'єднань;
- приєднувальні розміри відповідно до складального креслення;
- відповідність спеціальним вимогам (балансування обертових вузлів, узгодження масових та статичних характеристик);
- функціональні характеристики складального виробу (наприклад, тиск, продуктивність, витрати рідини, якість електричних контактів тощо);
- зовнішній вигляд готового виробу (відсутність механічних пошкоджень, чистота поверхонь, відповідність естетичним вимогам).

Окрім контролю технічних параметрів, перевіряється правильність виконання технологічних етапів: порядок затягування кріплень, послідовність зварювання швів, а також допоміжні операції, такі як очищення та промивання деталей. Таким чином, контроль якості у складальному процесі є комплексною процедурою, що забезпечує відповідність продукції заданим технічним вимогам.

Приклади контролю геометричних характеристик з'єднань показані на рис. 6.4–рис. 6.11.

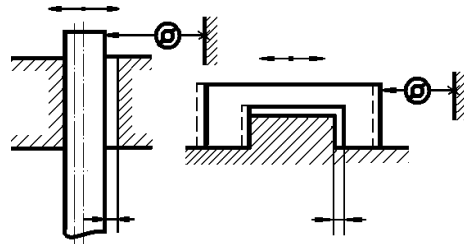


Рис. 6.2. Схеми контролю зазорів в з'єднанні [1]

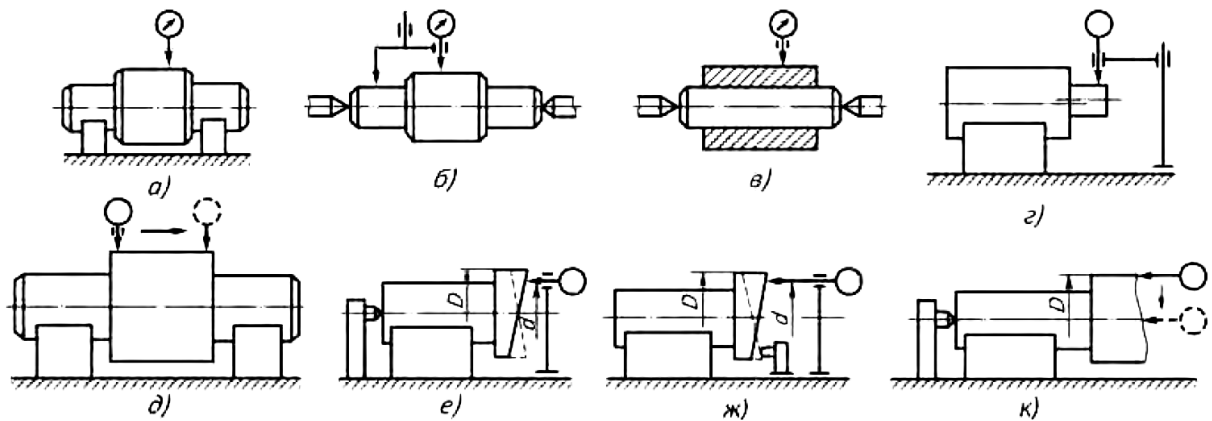


Рис. 6.3. Типові схеми контролю торцевого та радіального биття

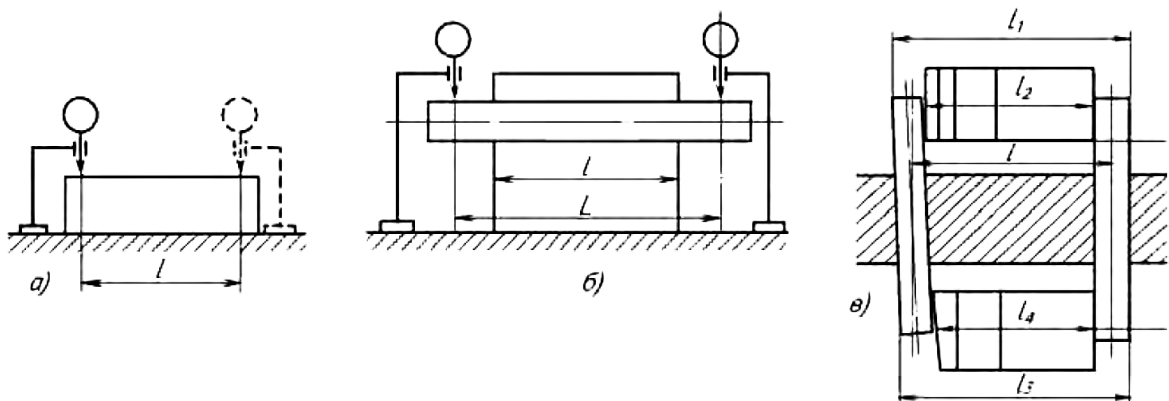


Рис. 6.4. Типові схеми контролю відхилення від паралельності

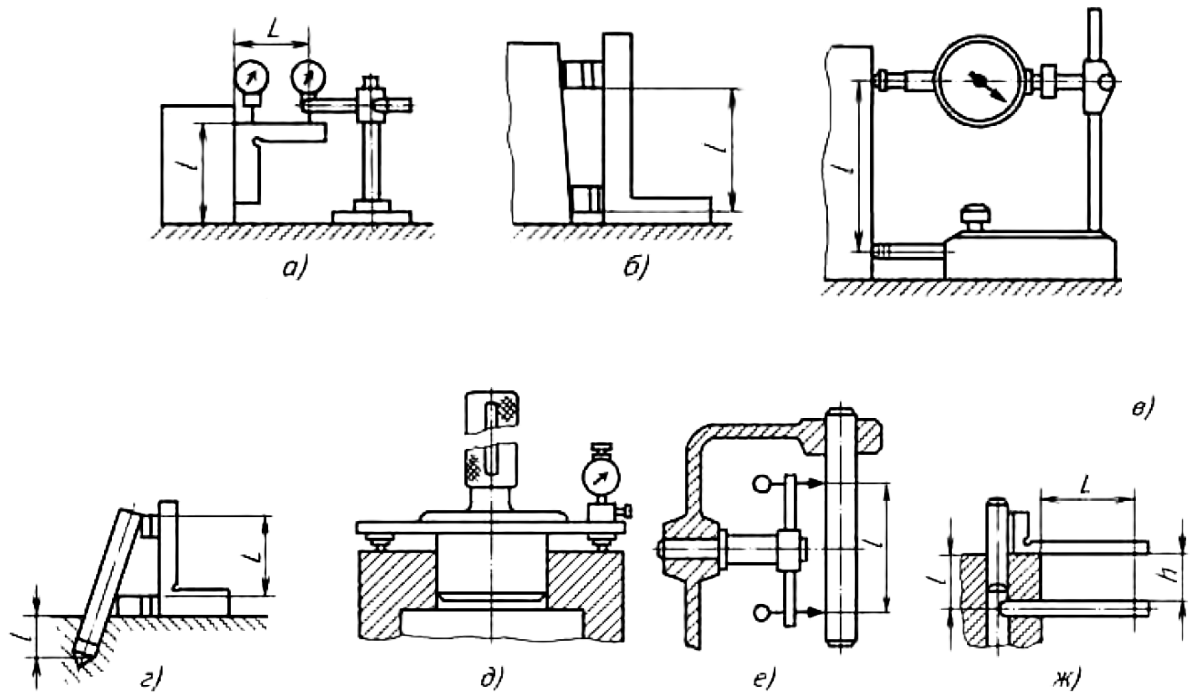


Рис. 6.5. Типові схеми контролю відхилення від перпендикулярності

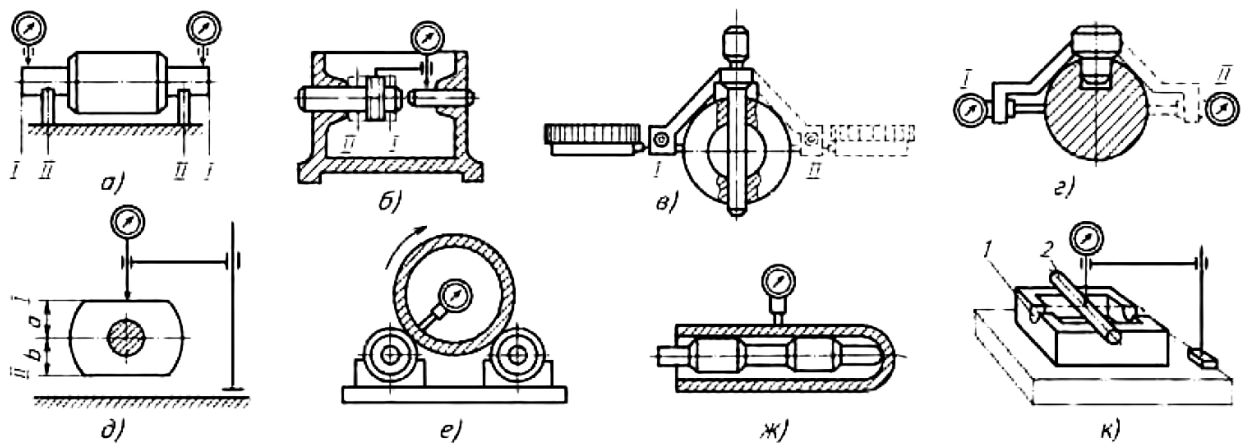


Рис. 6.6. Типові схеми контролю співвісності, симетричності та паралельності

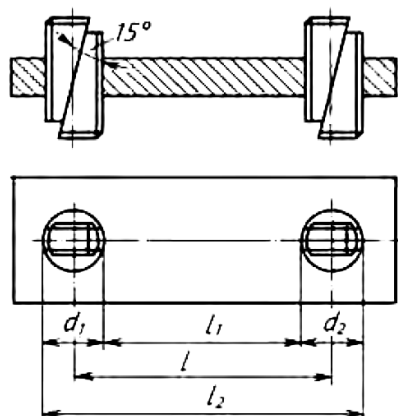


Рис. 6.7. Схема вимірювання відстані між осями

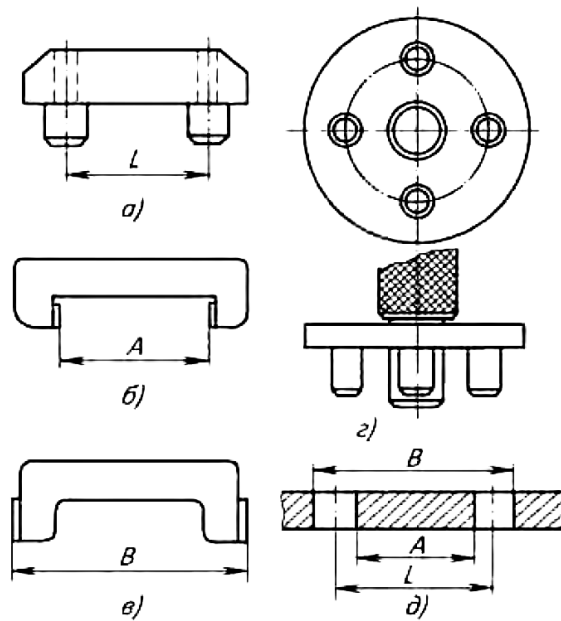


Рис. 6.8. Калібри для контролю відстаней між осями отворів

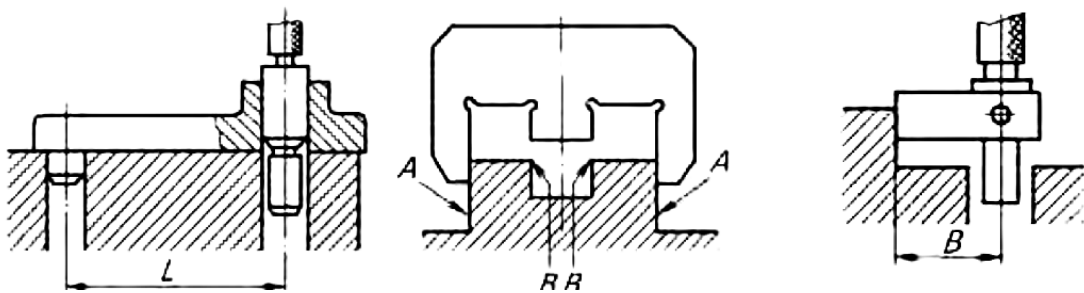


Рис. 6.9. Контроль відхилень розташування поверхонь калібрами

Під час виконання контрольних операцій вибір відповідних засобів вимірювання здійснюється з урахуванням їх метрологічних характеристик (межі та точність вимірювання), конструктивних параметрів (розміри, вага), економічної доцільності, а також для покращення умов праці контролерів. Ефективність контролю тим вища, чим точніше виміряні параметри відображають реальні характеристики виробу. Основними критеріями при проектуванні контрольних операцій є точність отриманих даних і продуктивність самого процесу. Як вимірювальні засоби застосовують універсальні інструменти – штангенциркулі, мікрометри, індикаторні пристрої, а також електричні, пневматичні прилади, спеціальні контрольні установки, стенди та пристосування.

Відповідальність за визначення методики контролю, вибір об'єкта перевірки, підбір відповідного обладнання покладається на технолога. Саме він формує технічне завдання на створення спеціалізованих вимірювальних пристроїв, розробляє схему перевірки, яка забезпечить оптимальне виконання контрольних операцій.

Методи вимірювання поділяються на дві основні категорії: методи прямого визначення та методи порівняння. Останні, у свою чергу, включають різні підходи: метод протиставлення, диференціальний, нульовий, метод заміщення та метод збігів.

Метод прямого визначення передбачає отримання значень величини безпосередньо за показниками вимірювального приладу прямої дії. До таких приладів відносяться вольтметри, амперметри, лічильники електроенергії, термометри, тахометри тощо. У цьому випадку пряма участь міри (еталона) у процесі вимірювання зазвичай відсутня. Визначення значення відбувається через попереднє калібрування приладу за допомогою зразкових мір. Проте точність такого методу обмежується класом точності самого приладу.

Метод порівняння передбачає зіставлення вимірюваної величини з відомим зразком. Один із варіантів – метод протиставлення, коли вимірювана характеристика і еталон одночасно впливають на вимірювальний пристрій, що дозволяє встановити співвідношення між ними. Прикладом є зважування на важільних вагах із розташуванням гир на різних чашах. За умови мінімального тертя в механізмах і стабільності важелів можна досягти високої точності вимірювання.

Диференціальний метод передбачає визначення різниці між досліджуваною величиною та еталонною. Завдяки цьому навіть при використанні менш точних вимірювальних приладів можна отримати високу точність результатів, якщо зразкове значення задано з великою точністю. Чим ближче зразок до реального значення вимірюваної характеристики, тим точніше буде визначення.

Якщо під час диференціального методу вплив вимірюваної величини та еталона на прилад нівелюється до нуля, метод стає нульовим. Для його реалізації необхідна змінна еталонна величина, а сам вимірювальний пристрій виконує функцію індикатора рівноваги. Завдяки цьому підходу можна досягти найвищої точності вимірювань.

Метод заміщення полягає в тому, що невідома величина поступово замінюється відомою, доки не буде досягнута рівність. Наприклад, під час зважування спочатку кладуть на ваги досліджувану масу, а потім замінюють її гирями тієї ж ваги. Цей підхід подібний до диференціального або нульового методу, але порівняння відбувається не одночасно, а поступово.

Метод збігів заснований на вимірюванні різниці між досліджуваною величиною та еталонном шляхом порівняння міток на шкалах або періодичних сигналів. Прикладами є використання штангенциркуля з ноніусом або вимірювання частоти обертання за допомогою стробоскопа.

Запитання для самоконтролю

1. Які основні причини похибок у замикальних ланках РЛ–виробів?
2. Які параметри контролюються під час складання виробів для забезпечення їх якості?
3. Як класифікують види контролю залежно від об'єкта перевірки?
4. Чим відрізняється вхідний, операційний і приймальний контроль?
5. Які типи контролю застосовують залежно від моменту його проведення?
6. У чому різниця між суцільним, вибіркоvim і статистичним контролем?
7. Чим вимірювальний контроль відрізняється від органолептичного?
8. Які особливості активного і пасивного контролю та як вони впливають на якість складання?
9. Які фактори можуть впливати на точність вимірювань під час контролю виробів і вузлів?
10. Як організовується процес технічного контролю та які етапи він включає?
11. Які засоби вимірювання використовують для контролю геометричних параметрів деталей?
12. У чому полягає відмінність між методами прямого вимірювання та методами порівняння?
13. Як працює метод нульового вимірювання і в чому його перевага?
14. Чим метод заміщення відрізняється від диференціального?
15. Які чинники необхідно враховувати при виборі контрольного обладнання для серійного виробництва?

Лекція №7. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ НЕРУХОМИХ З'ЄДНАНЬ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Класифікація нерухомих з'єднань;
- Призначення та особливості з'єднань з гарантованим натягом;
- Методи складання нерухомих з'єднань;
- Контроль точності та якості поверхонь при складанні з натягом;
- Сутність процесу паяння;
- Види паяння та особливості їх застосування;
- Види припоїв та їх характеристика;
- Призначення і властивості флюсів, що використовуються при паянні;
- Графічне позначення паяних з'єднань на кресленнях;
- Принципи утворення зварних з'єднань;
- Види зварних з'єднань і швів;
- Методи контролю якості зварних з'єднань.

Ключові слова: нерухомі з'єднання, гарантований натяг, пресова посадка, запресування, паяння, припій, флюс, зварювання, шов, неруйнівний контроль, дифузія, теплове паяння, контактне зварювання, механічні напруження, точність складання.

7.1 Призначення та технологічні особливості нерухомих з'єднань

Нерухомі з'єднання відіграють ключову роль у створенні надійних та довговічних конструкцій машин і механізмів, забезпечуючи фіксацію деталей у заданому положенні без можливості їх відносного переміщення під час експлуатації. Вони характеризуються неможливістю взаємного переміщення

пов'язаних деталей та можуть бути виконані за пресовими посадками – з гарантованим натягом або за перехідними посадками, де можливий як натяг, так і зазор. Для підвищення міцності таких з'єднань у перехідних посадках нерідко застосовуються додаткові конструктивні елементи, зокрема шпонки, штифти та шліци.

Залежно від можливості розбирання нерухомі з'єднання поділяються на нероз'ємні та роз'ємні. До нероз'ємних належать з'єднання з гарантованим натягом, зварні, паяні, клейові, а також ті, що формуються під час лиття або пластичного деформування. Роз'ємні з'єднання включають різьбові, шпонкові та шліцьові конструкції, які дозволяють роз'єднання без пошкодження деталей. Процес складання нерухомих з'єднань вимагає високої точності виконання, дотримання технологічних вимог і контролю відповідності всіх параметрів заданим нормативам.

7.2 З'єднання деталей з гарантованим натягом

Нерухоме з'єднання двох деталей шляхом запресування однієї в іншу, що забезпечує їхню жорстку фіксацію без застосування додаткових кріпильних елементів, називається з'єднанням з гарантованим натягом. Основний принцип цього методу полягає в тому, що зовнішній діаметр охоплюваної деталі перевищує внутрішній діаметр отвору охоплюючої деталі. Це створює гарантований натяг, завдяки якому виникають сили зчеплення, що запобігають відносному зміщенню складових елементів конструкції.

З'єднання з гарантованим натягом здатні передавати різні механічні навантаження: крутний момент, осьові зусилля або їхню комбінацію. Їх широко застосовують у машинобудуванні для кріплення валів, шківів, зубчастих коліс, підшипників та інших деталей.

Важливим параметром таких з'єднань є посадки, що визначають ступінь натягу. Вони поділяються на:

- перехідні посадки, які можуть мати як натяг, так і зазор залежно від конкретних відхилень;
- посадки з натягом, при яких діаметр охоплюваної деталі завжди більший за діаметр отвору охоплюючої деталі. Натяг позначається різницею між цими діаметрами та визначає силу взаємодії деталей після складання.

Сили, що виникають у таких з'єднаннях, залежать від величини натягу, механічних властивостей матеріалу та умов експлуатації. Основні види сил:

- сили тертя, що перешкоджають осьовому та радіальному зміщенню деталей;
- сили пружної деформації, що виникають через стиснення та розширення матеріалу при складанні;
- сили зчеплення, що забезпечують цілісність з'єднання при динамічних навантаженнях.

Методи складання нерухомих з'єднань з гарантованим натягом поділяються на три основні групи:

1. Механічне запресування – здійснюється за допомогою пресів (ручних, гідравлічних, пневматичних). Запресування проводять у два етапи: спочатку повільне введення деталі із контрольованим зусиллям, потім різке доведення до кінцевого положення.

2. Теплові методи – передбачають нагрівання охоплюючої деталі або охолодження охоплюваної. Для нагріву використовують масляні та водяні ванни, електричні печі, газове полум'я, індукційні пристрої. Охолодження здійснюють за допомогою рідкого азоту ($-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), зрідженого кисню ($-183\text{ }^{\circ}\text{C}$), вуглекислоти ($-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ці методи особливо ефективні для великих деталей та тонкостінних конструкцій.

3. Комбіновані методи – поєднують механічне запресування з попереднім нагріванням або охолодженням деталей.

При виконанні запресування важливо забезпечити точність геометричних параметрів деталей. Овальність, конусність або відхилення від форми можуть призвести до нерівномірного розподілу напружень і зниження надійності з'єднання. Тому перед складанням проводять ретельний контроль поверхонь, а для полегшення процесу використовують фаски, мастильні матеріали (графітові, молібденові склади, мінеральне масло).

Розбирання таких з'єднань може вимагати застосування гідравлічних або механічних знімачів. Деякі конструкції передбачають спеціальні канали для нагріву або подачі мастила, що полегшує демонтаж. Додатково можливе використання ультразвукових методів контролю якості складання, аналізу спектрограм шумів для виявлення дефектів.

Таким чином, нерухомі з'єднання з гарантованим натягом є одним із найефективніших способів забезпечення міцності та надійності конструкцій у машинобудуванні, авіаційній, автомобільній та інших галузях промисловості.

7.3 З'єднання деталей пайкою

Паяння є одним із процесів складання нерухомих з'єднань, що забезпечує міцне з'єднання металевих або металізованих деталей за допомогою припою. Завдяки міжатомному зчепленню, розчиненню та дифузії припою з основним матеріалом, паяння дозволяє створювати надійні та герметичні з'єднання без розплавлення деталей. На відміну від зварювання, цей метод мінімізує теплові деформації, що особливо важливо для тонкостінних або чутливих до нагріву конструкцій. Паяння широко використовується в електроніці, машинобудуванні, авіаційній та приладобудівній галузях, де потрібна точність та довговічність з'єднання. На відміну від зварювання, паяння зберігає незмінними структуру, механічні властивості та хімічний склад матеріалу деталей, викликаючи значно меншу залишкову напругу в зоні з'єднання. Міцність паяного з'єднання залежить від фізико-хімічних характеристик

припою, а також від сили зчеплення припою з поверхнями деталей, що з'єднуються.

Існує кілька основних способів паяння, які використовуються в промисловості та ремонтних роботах. Екзотермічне паяння здійснюється в повітрі або в захисному газовому середовищі, що запобігає окисленню з'єднання. Паяння паяльником застосовується для роботи з м'якими припоями та деталями невеликої товщини. Газове паяння передбачає використання газового полум'я, що дозволяє досягти рівномірного прогріву зони з'єднання. Паяння електроопором відбувається за рахунок проходження електричного струму через контактні поверхні, викликаючи їх локальне нагрівання. Паяння у ванні передбачає занурення деталей у розплавлений припій, що забезпечує якісний і рівномірний розподіл матеріалу по всій площі контакту. Паяння в печі використовується для масового виробництва, коли необхідно здійснити одночасне з'єднання великої кількості деталей. Дифузійне паяння базується на глибокому проникненні атомів припою в матеріал деталі, що сприяє формуванню з'єднання високої міцності. Індукційне паяння застосовується для швидкого та рівномірного нагрівання за рахунок впливу високочастотного електромагнітного поля. Паяння випромінюванням використовує лазерне або інфрачервоне випромінювання для локального нагріву та формування з'єднання.

Головною відмінністю паяння від зварювання є те, що кромки деталей не розплавляються, а лише нагріваються до температури плавлення припою. Припій, маючи нижчу температуру плавлення, ніж матеріал деталей, розтікається у зазорах між поверхнями деталей і твердне, забезпечуючи надійний контакт.

Залежно від температури плавлення припої поділяють на легкоплавкі та тугоплавкі. Легкоплавкі припої мають температуру плавлення до 400 °C і характеризуються відносно невисокою механічною міцністю. Вони переважно складаються з олова та свинцю і широко застосовуються в електроніці

та дрібних монтажних роботах. Тугоплавкі припої мають температуру плавлення вище 500 °С і дозволяють отримати міцність з'єднання, близьку до міцності основного металу деталей. До складу тугоплавких припоїв входять мідь, цинк, срібло, нікель, залізо, кадмій та інші метали, що визначають їхні експлуатаційні властивості.

Залежно від характеристик деталей, які підлягають з'єднанню, вибирають відповідний спосіб паяння та тип припою, що забезпечує оптимальне співвідношення міцності, довговічності та корозійної стійкості паяного шва табл. 7.1.

Табл. 7.1. Марки припоїв, що рекомендуються для пайки [10]

Вид припою	Характеристика	Марка	Призначення
Олов'яно-свинцевий	М'яжки Тпл < 500°С	ПОС90, ПОС61М, ПОССу15	Алюмінієві сплави
Олов'яно-свинцевий	Тпл = 200°С	Авіа - 1	Тонкостінні вироби з алюмінію
На основ срібла	Тверді Тпл > 500°С	ПСр72, ПСр12М	Чорні метали
Мідно-нікелеві		МНЖМц30-1-1, МН19, МНА13-3	Вуглецеві сталі
Кадмієві		КдОАС, Кд1	Леговані сталі
Магнієві		Мг96. Мг90	Кольорові метали

Флюси, що використовуються в паянні, – це спеціальні хімічні речовини, які очищають поверхні деталей від оксидів, покращують змочування припою та запобігають утворенню нових оксидних плівок під час нагрівання. Вони сприяють рівномірному розтіканню припою та забезпечують надійне зчеплення між матеріалами. Залежно від складу, флюси поділяють на активні (кислотні), які агресивно розчиняють оксиди, та нейтральні (безкислотні), що використовуються для паяння електронних компонентів. Найпоширенішими є каніфоль, хлористий цинк, ортофосфорна кислота та спеціальні пасти, які

підбирають залежно від типу припою та матеріалу деталей. Найбільш поширені марки флюсів наведені в табл. 7.2.

Табл. 7.2. Марки флюсів, які рекомендуються для паяння [10]

Найменування флюса	Марка флюса	Призначення
Універсальний нейтральний флюс №1	УН-1	Чорнових і кольорових металів
Кислотний етанол-канифольний флюс	КЕЦ	Кольорові і дорогоцінні метали
Природна смола (резина хвойних дерев)	Канифоль	Мідь та її сплави
Лужний тугоплавкий інгібований флюс №1	ЛПІ-1	Нержавіюча сталь, нікель, срібло
Флюс Водорозчинний Технологічний Склад	ВТС	Платина і її сплави

Паяне з'єднання на кресленнях зображують лінією, товщина якої в два рази більша, ніж лінія обведення видимого контуру, тобто $2s$. До паяного з'єднання проводять виносну лінію із стрілкою (рис. 7.1, а, б) [10].

Цю лінію перетинають умовним знаком паяння у вигляді напівдуги «С». Для швів, виконаних по периметру, лінію–виноску закінчують колом діаметром 3...5 мм від якої проводять поличку.

Її використовують для позначення номера пункту технічних вимог, у яких вказують марку припою і вимоги до якості шва.

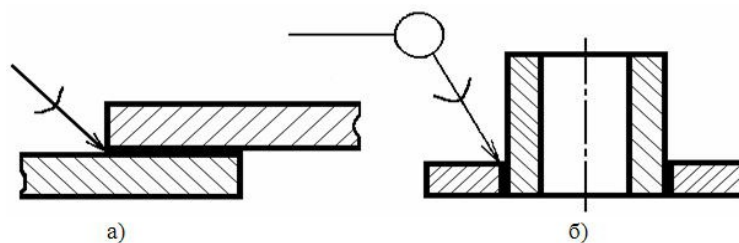


Рис. 7.1. Зображення паяного з'єднання на кресленнях [10]

У разі необхідності на зображенні паяного з'єднання вказують розміри шва і позначення якості його поверхні.

Спаї скла з металом використовуються в різних галузях, зокрема в електроніці, вакуумній техніці та приладобудуванні. Для забезпечення міцного

з'єднання важливо узгодити коефіцієнти термічного розширення скла і металу, щоб уникнути утворення тріщин під час охолодження. Найчастіше такі з'єднання створюють за допомогою припоїв на основі срібла або мідно–нікелевих сплавів, а для покращення зчеплення поверхню металу попередньо нікелюють або міднять. Спеціальні флюси допомагають знизити поверхневий натяг припою та сприяють утворенню рівномірного шару між склом і металом.

Основні типи паяних з'єднань і їх умовні позначення вказані відповідно до рис. 7.2.

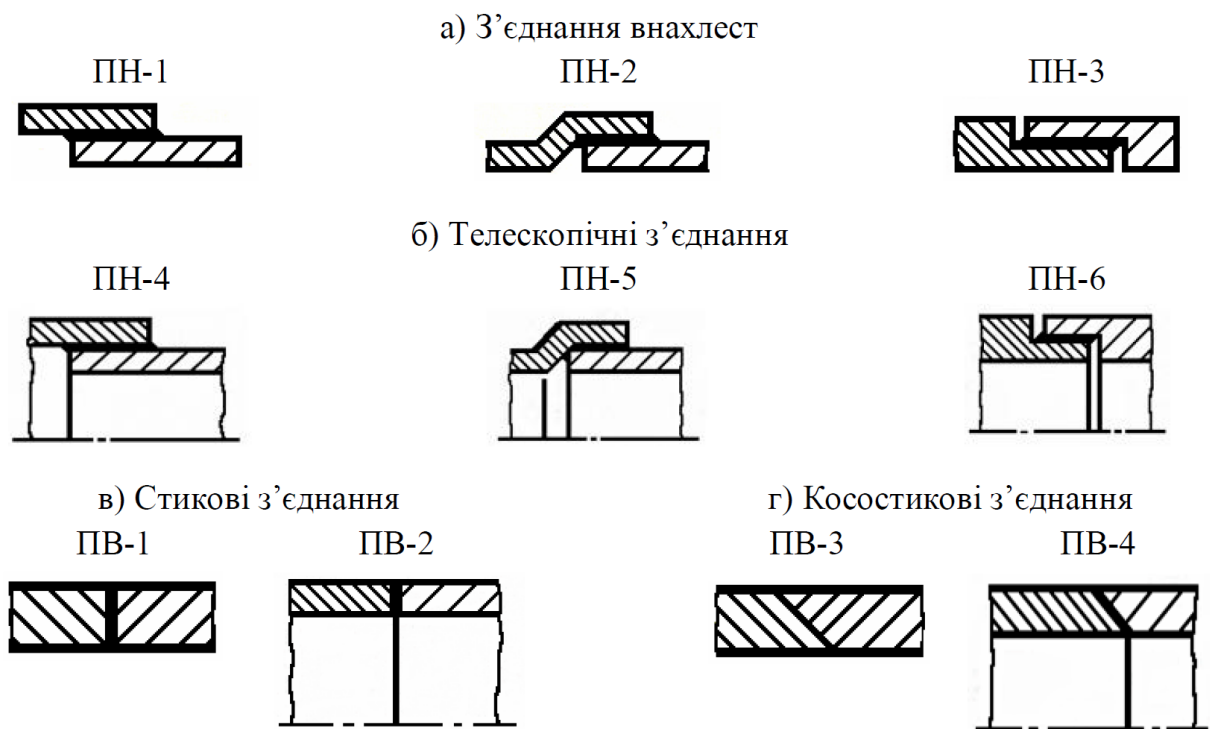


Рис. 7.2. Основні типи і позначення паяних з'єднань [10]

7.4 З'єднання деталей зварюванням

Зварювання – це технологічний процес отримання нероз'ємного з'єднання матеріалів шляхом їх локального нагрівання, пластичного деформування або спільного використання обох методів. У результаті зварювання відбувається утворення міцного з'єднання на атомарному рівні. Зварні з'єднання використовуються у різних галузях промисловості, таких як машинобудування, будівництво, авіація, суднобудування та багато інших.

Процес зварювання може здійснюватися різними методами залежно від характеристик матеріалів, умов експлуатації та вимог до міцності з'єднання. Основні види зварювання включають електродугове, газове, контактне, лазерне, ультразвукове та інші.

Найпоширенішим є електродугове зварювання, при якому використовується електрична дуга для нагрівання кромки з'єднуваних деталей та електродного матеріалу. У зоні зварювання метал плавиться, утворюючи рідку ванну, яка після охолодження створює міцний зварний шов. Для захисту розплавленого металу від окислення застосовують захисні гази (аргон, вуглекислий газ) або флюсове покриття електродів.

Газове зварювання виконується шляхом нагрівання металу полум'ям, що утворюється при згорянні газової суміші, найчастіше ацетилену та кисню. Такий метод дозволяє працювати з тонколистовими металами, а також використовувати припої для створення з'єднань.

Контактне зварювання здійснюється за рахунок стискання деталей під дією електричного струму, що пропускається через місце контакту. Це дозволяє швидко та надійно з'єднувати деталі без додаткових матеріалів.

Матеріали, що використовуються в процесі зварювання, включають різні метали та їх сплави, такі як сталь, алюміній, мідь, титан та нікель. Для кожного матеріалу підбирається відповідний спосіб зварювання, електроди, флюси та захисні гази, що забезпечують якісне та довговічне з'єднання.

Зварні з'єднання мають багато переваг у порівнянні з іншими методами з'єднання деталей, що робить їх широко застосовуваними у промисловості. Вони забезпечують високу міцність та герметичність, оскільки створюють монолітне з'єднання, яке витримує значні механічні навантаження та вплив зовнішніх факторів.

Однією з основних переваг зварювання є мінімальна витрата матеріалів. Оскільки відсутня потреба у додаткових кріпильних елементах, таких як болти, гайки або заклепки, це значно зменшує витрати на матеріали. Крім

того, це сприяє зменшенню маси конструкції, що особливо важливо у виробництві транспортних засобів, авіації та суднобудуванні.

Ще однією важливою перевагою є можливість автоматизації процесу. Багато видів зварювання легко піддаються механізації та автоматизації, що дозволяє підвищити продуктивність праці, зменшити трудові витрати та забезпечити високу якість виконання швів.

Зварювання також є економічним способом з'єднання деталей. Використання цього методу дозволяє уникнути складних конструктивних рішень, спростити технологію складання та скоротити витрати на виробництво.

Ще одна суттєва перевага – можливість зварювання деталей з різних матеріалів і форм. Завдяки цьому можна з'єднувати як однотипні матеріали, так і різнорідні метали, що розширює сферу застосування зварних конструкцій.

Зварні з'єднання стійкі до вібраційних і динамічних навантажень. Це робить їх особливо корисними у машинобудуванні, де важливе збереження міцності при постійних механічних впливах.

Зварні з'єднання класифікують за кількома критеріями. За відносним розташуванням деталей розрізняють стикові, нахльосточні, кутові, таврові та крайкові з'єднання. Стикові з'єднання застосовуються при зварюванні деталей по одній площині, нахльосточні передбачають накладання деталей одна на одну, а кутові – їхнє з'єднання під певним кутом. Таврові з'єднання утворюються, коли одна деталь приварюється перпендикулярно до іншої, а крайкові використовуються для зварювання листових матеріалів по їхніх краях.

За характером шва зварні з'єднання поділяються на безперервні та перервні. Безперервні шви розташовуються по всій довжині з'єднання, тоді як перервні складаються з окремих точкових або коротких швів.

За способом виконання зварювання розрізняють ручні, автоматичні та механізовані зварні з'єднання. Ручне зварювання здійснюється оператором за допомогою дугових або газових пальників, тоді як автоматизоване та

механізоване зварювання передбачає використання спеціального обладнання, яке виконує процес зварювання з мінімальним втручанням людини.

За типом напружень у зварному шві з'єднання поділяються на жорсткі та пластичні. Жорсткі з'єднання витримують великі навантаження без деформації, тоді як пластичні можуть поглинати певні деформації без руйнування.

За типом використовуваних матеріалів розрізняють гомогенні та гетерогенні з'єднання. Гомогенні передбачають зварювання деталей з одного і того ж матеріалу, тоді як гетерогенні – з'єднання різнорідних металів або навіть металів з неметалами.

За кількістю проходів зварні з'єднання можуть бути однопрохідними або багатопрохідними. Однопрохідні виконуються за один раз, а багатопрохідні складаються з декількох шарів наплавленого металу, що застосовується для товстих деталей.

В умовному позначенні шва можуть бути застосовані такі знаки (рис. 6.4) [10] та табл. 7.3:

Таблиця 7.3. Допоміжні знаки позначення зварних швів

№	Знак	Назва / Тип	Пояснення
1	○	По замкнутій лінії	Шов накладається по замкнутому контуру (наприклад, коло, прямокутник).
2	с (незамкнуте коло)	По незамкнутій лінії	Шов накладається по відкритій лінії (дуга, частина кола).
3	⊥	Точковий шов	Виконується у вигляді окремих точок, що з'єднують деталі.
4	~	Шов по кривій лінії	Шов виконується у вигляді хвилястої (дугоподібної) лінії.
5	△	Шов з накладенням	Використовується для позначення шва з додатковим підсиленням (накладенням).
6	/	Переривчастий шов	Шов складається з окремих ділянок (коротких відрізків).
7	Z	Переривчастий у шаховому порядку	Шви розташовані у вигляді шахової дошки, чергуючись по рядах.
8	∟	Кутовий або замкнутий шов	Позначає виконання шва по куту або замкнутій фігурі.

Шов виконується суцільним або переривчастим, таким, що характеризується довжиною l проварюваних ділянок, які розташовані з певним кроком t . Двосторонні переривчасті шви виконуються з ланцюговим або шаховим розташуванням проварених ділянок [10].

В умовне позначення шва може бути включене літерне позначення способу зварювання. Наприклад, зварювання автоматичне позначають А, напівавтоматичне – П, контактне точкове, – Кт, шовне, – Кш, зварювання в інертних газах неплавким електродом без присадного матеріалу – ІН, у вуглекислому газі плавким електродом – УП та ін.

Видимі шви зварних з'єднань незалежно від способу зварювання умовно зображуються суцільною основною лінією, а невидимі – штриховою (рис. 7.6) [10].

На рис. 7.3 ліворуч зображена форма поперечного перетину швів, умовне позначення яких Т1 і Н1.

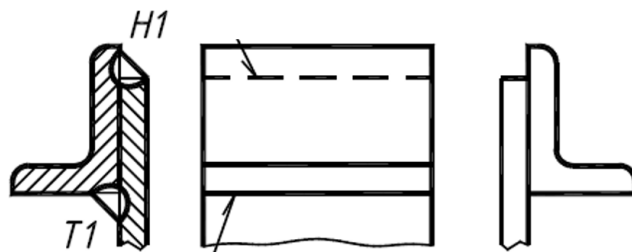


Рис. 7.3. Нанесення умовних позначень зварних швів [10]

Одиночні зварні точки позначаються знаком «+» висотою і шириною 5...10 мм, товщина ліній S (0,5...1,4 мм). Невидимі зварювальні точки не зображуються. Умовне позначення шва наносять на полиці лінії–виноски, проведеної від зображення шва з лицьового боку або під полицею лінії–виноски, що проводиться від оборотної сторони (рис. 7.6). (За лицьову сторону однобічного шва приймають сторону, з якої проводять зварювання). Лінію–виноску починають однобічною стрілкою [10].

За наявності на зображенні осі симетрії допускається відзначати лініями – виносками і позначати шви лише на одній з симетричних частин виробу (рис. 7.4).

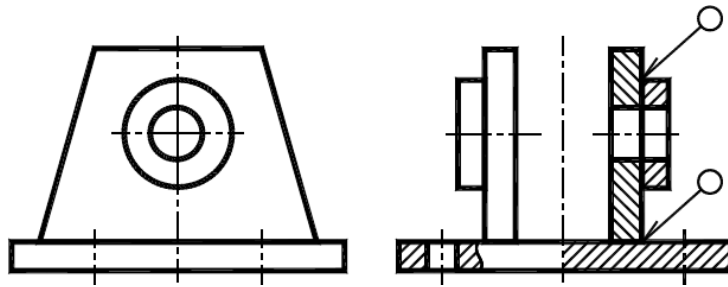


Рис. 7.4. Позначення швів на симетричному виробі [10]

Однакові вимоги, які висуваються до всіх швів, і зварювальні матеріали вказуються в технічних вимогах.

На навчальних кресленнях позначення стандартних і нестандартних швів можна значно спростити, вказуючи лише літерно-цифрове позначення типу шва, номер стандарту і величину катета.

Контроль якості зварних з'єднань є важливим етапом у забезпеченні надійності та довговічності конструкцій. Метою контролю є виявлення дефектів, що можуть виникати під час зварювання, перевірка відповідності зварного шва технічним вимогам і стандартам, а також забезпечення безпеки експлуатації виробу.

Види контролю зварних з'єднань поділяються на візуальний, вимірний та спеціальні методи контролю.

1. Візуальний і вимірний контроль. Це найпростіший та найпоширеніший спосіб перевірки якості швів. Він передбачає зовнішній огляд поверхні зварного з'єднання та вимірювання його геометричних параметрів. За допомогою шаблонів, луп, вимірних інструментів перевіряють ширину, висоту, рівномірність шва, наявність подрізів, тріщин, пор чи напливів.
2. Механічні методи. Використовуються для визначення міцності зварного з'єднання. Зразки піддають статичним і динамічним випробуванням: розтягуванню, згину, ударним навантаженням тощо. Ці методи дають точні результати, але є руйнівними, тобто в процесі контролю зразок пошкоджується.

3. Фізичні (неруйнівні) методи. Дають змогу перевірити якість без руйнування виробу. Серед них:
- рентгенографія та гаммаграфія – дають зображення внутрішньої структури шва і дозволяють виявити пори, непровари, включення;
 - ультразвуковий контроль – застосовується для визначення внутрішніх дефектів шляхом відбиття хвиль від неоднорідностей;
 - магнітопорошковий метод – ефективний для виявлення поверхневих і підповерхневих тріщин у ферромагнітних матеріалах;
 - капілярний метод – заснований на проникненні контрольної рідини в мікротріщини та пори з подальшим проявленням.
4. Технологічний контроль. Передбачає перевірку дотримання режимів зварювання, відповідність витратних матеріалів вимогам та правильність підготовки з'єднуваних поверхонь.

Основні вимоги до контролю полягають у своєчасності його проведення, комплексному підході та застосуванні методів, що відповідають класу відповідальності конструкції. Для особливо важливих деталей використовується поєднання кількох неруйнівних методів, що дозволяє мінімізувати ризик прихованих дефектів.

Таким чином, контроль зварних з'єднань є невід'ємною частиною виробничого процесу і визначає експлуатаційну надійність конструкцій. Якісно виконаний контроль забезпечує відповідність виробів нормативним документам і гарантує їхню безпечну роботу у різних умовах.

Запитання для самоконтролю

1. Що характеризує нерухомі з'єднання, і які основні методи їх виконання?
2. Які методи складання використовуються для з'єднань деталей з гарантованим натягом?
3. Які джерела холоду застосовуються для охолодження валів при створенні нерухомих з'єднань?
4. Які відмінності між м'якими та твердими припоями, і в яких випадках їх використовують?
5. Які основні види зварювання існують, і в чому їхня відмінність?
6. Які основні переваги зварних з'єднань порівняно з іншими способами з'єднання деталей?
7. Які правила потрібно враховувати під час конструювання деталей зі зварними з'єднаннями?
8. Які методи контролю застосовуються для перевірки якості зварних і паяних вузлів?
9. Як класифікують зварні з'єднання за типом шва та напружень?
10. Яку роль відіграють захисні гази та флюси в процесі зварювання?
11. Які конструктивні типи зварних з'єднань існують і як вони позначаються на кресленнях?
12. Які особливості автоматизованого зварювання та в яких випадках воно застосовується?

Лекція №8. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ НЕРУХОМИХ З'ЄДНАНЬ (продовження)

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Призначення та класифікація заклепкових з'єднань;
- Види заклепкових швів та їх конструктивні особливості;
- Вибір типу шва залежно від умов експлуатації;
- Конструкція заклепки та типи головок;
- Вимоги до розташування та розмірів заклепкових швів;
- Технологія виконання заклепкових з'єднань;
- Методи контролю якості заклепкових швів;
- Сутність процесу склеювання та його етапи;
- Види клеїв і принципи їх вибору;
- Конструктивні особливості клейових з'єднань;
- Переваги та обмеження методу склеювання;
- Технологічний процес заформовки деталей;
- Конструктивні рішення для підвищення міцності заформованих з'єднань;
- Галузі застосування заформовки та її переваги.

Ключові слова: заклепка, заклепковий шов, з'єднання внахлист, з'єднання встик, накладка, замикальна головка, крок заклепок, клепаання, герметичність, склеювання, клей, адгезія, підготовка поверхні, комбіноване з'єднання, епоксидний клей, товщина шару, заформовка, арматура, адгезійне зчеплення, формувальний матеріал, газонепроникність.

8.1 Заклепки і заклепочні з'єднання

З'єднання двох або більше листів чи деталей за допомогою заклепок формує заклепковий шов. Заклепки можуть розташовуватися в один, два або

більше рядів уздовж лінії шва. В залежності від цього, заклепкові шви поділяються на однорядні, дворядні та багаторядні. Якщо в багаторядному шві заклепки розміщені в шаховому порядку або рівнобіжними лініями, це також впливає на міцність та розподіл навантаження.

За способом поєднання деталей розрізняють кілька типів заклепкових швів. При з'єднанні внахлист один лист накладається на інший. Якщо використовується з'єднання встик, то стики листів з'єднуються або за допомогою однієї накладки, яку прикріплюють до обох деталей, або двох накладок, що розташовуються з обох боків місця стику.

Вибір типу заклепкового шва залежить від призначення конструкції. Міцні заклепкові з'єднання застосовуються у будівництві мостів та металевих каркасів. Для герметичних конструкцій, наприклад, резервуарів або котлів, використовуються щільні шви, герметичність яких досягається встановленням прокладок або карбуванням шва. В окремих випадках потрібні шви, що поєднують міцність і герметичність, як—от у суднобудуванні чи виготовленні ємностей високого тиску.

Для досягнення якісного заклепкового з'єднання важливо правильно розташувати заклепки. Якщо вони розташовані надто щільно, це може послабити самі листи через надмірну кількість отворів. Занадто велика відстань між заклепками, навпаки, може негативно вплинути на міцність і герметичність з'єднання. Оптимальні розміри між центрами заклепок і від краю деталі залежать від діаметра заклепки та способу виготовлення отворів.

Основні розміри заклепкових швів (рис. 8.1):

- у випадку однорядного шва крок між заклепками становить три діаметри заклепки ($t = 3d$), а відстань від центру заклепки до краю деталі – $15d$ при свердлених отворах і $25d$ при пробитих;
- для дворядних швів крок між заклепками становить чотири діаметри ($t = 4d$), а мінімальна відстань від краю деталі – $15d$. Відстань між рядами заклепок має бути не меншою за два діаметри.

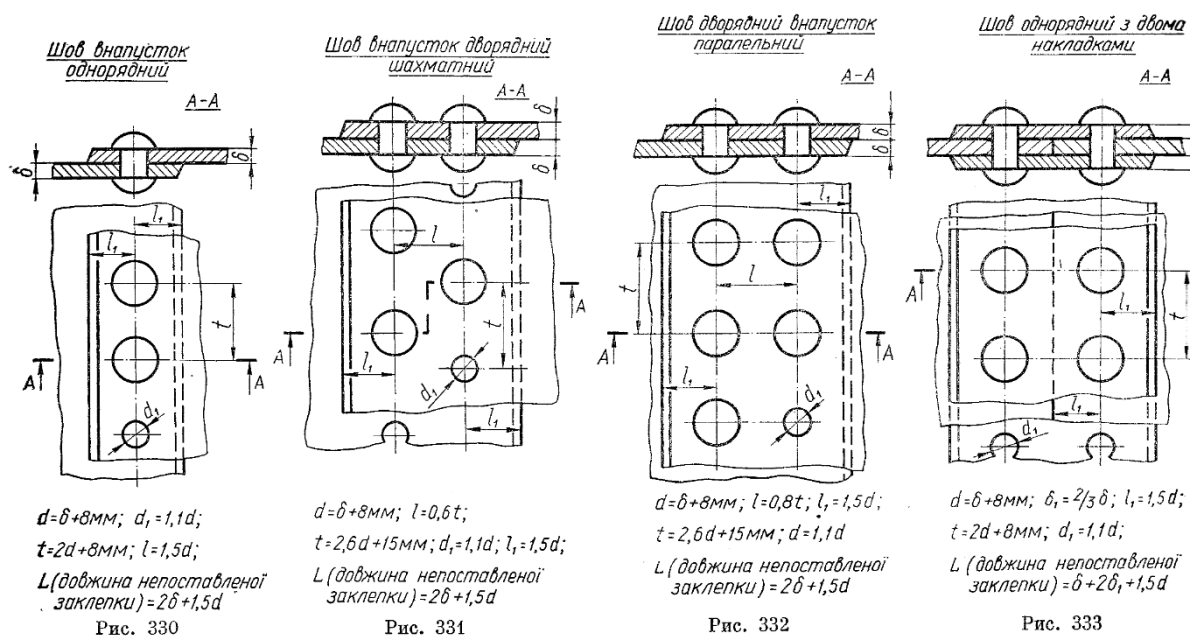


Рис. 8.1. Види та розміри заклепкових швів: а – з'єднання внахлст; б – встик з одною накладкою; в – встик із двома накладками; г – основні розміри заклепкового з'єднання

Розташування заклепок у шві не повинно бути надто щільним, адже це може ускладнити процес клепаання, а також призвести до ослаблення матеріалу через близьке розташування отворів.

Конструкція заклепки складається зі стрижня, закладної та замикальної головок. Замикальна головка формується при розклепуванні стрижня під час монтажу. Для підвищення міцності між стрижнем і головкою залишають закруглення (жолобник), що запобігає утворенню тріщин. На рис. 8.2 в, г, д зображені різні типи заклепок, що застосовуються у машинобудуванні. Заклепки з напівкруглою головкою забезпечують надійніше з'єднання, ніж заклепки з потаємною головкою, проте останні використовуються у випадках, коли важлива гладка поверхня з'єднання. Спеціальні типи заклепок, такі як вибухові та заклепки з сердечником, застосовуються у випадках, коли доступ до замикальної головки обмежений. На рис. 8.2 ж, з, і наведені спеціальні заклепки з сердечником і вибухові, що застосовуються головним чином для односторонньої клепки в закритих місцях конструкцій, тобто там, де клепку стрижневими заклепками зробити неможливо.

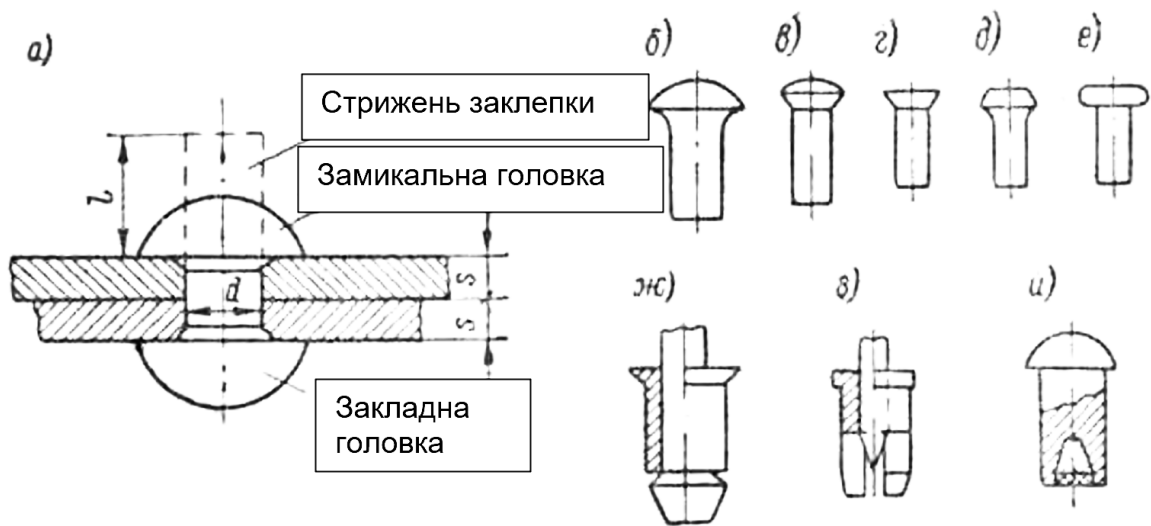


Рис. 8.2. Основні види заклепок: а – стандартне заклепкове з'єднання; б – заклепка з напівкруглою головою; в – з напівпотаємною головою; г – з потаємною головою; д – з плоскою головою; е – з плоскоступовою головою; ж – заклепка з сердечником; з – заклепка підвищеної міцності; и – вибухова заклепка.

Заклепки з сердечником складаються з пістона та центрального сердечника. Така конструкція дозволяє здійснювати клепку з одного боку, що зручно при монтажі в закритих місцях. Вибухові заклепки, навпаки, мають спеціальну вибухову речовину, яка активується для утворення замкальної головки без механічного впливу.

Розміри заклепок визначаються відповідно до вимог міцності з'єднання, товщини деталей та особливостей монтажу. Довжина стрижня заклепки має бути достатньою для формування надійної замкальної головки. Якщо довжина занадто мала, головка буде недостатньо міцною; якщо надто велика – форма головки вийде неправильною.

Отвори під заклепки створюють свердлінням або пробиванням. При з'єднанні деталей із високими вимогами до міцності пробивання не використовується, оскільки воно створює мікротріщини на краях отвору. У таких випадках отвори додатково обробляють зенкеруванням, щоб забезпечити щільне прилягання головки заклепки.

Перевірка якості виконаних заклепкових швів здійснюється візуальним оглядом, простукуванням, а для герметичних з'єднань – гідравлічними

випробуваннями. У відповідальних конструкціях, наприклад, у суднобудуванні або авіаційній промисловості, застосовується рентгенографія для виявлення внутрішніх дефектів у заклепкових швах.

8.2 З'єднання деталей склеюванням

Склеювання є технологічним методом нероз'ємного з'єднання деталей шляхом нанесення на їхні поверхні спеціального складу – клею, який після затвердіння формує міцний зв'язок між елементами.

Процедура склеювання складається з кількох етапів: підготовка контактних поверхонь, нанесення клею, з'єднання деталей, витримка під заданими умовами (температура, тиск) [10].

Цей метод застосовується для з'єднання елементів із широкого спектра матеріалів, зокрема металів, скла, кераміки, пластмас та їхніх комбінацій. Склеєні з'єднання не призначені для значних механічних навантажень, проте вони мають високу стійкість до впливу вібрацій, вологи та температурних коливань. Залежно від конструктивних особливостей виділяють чисто клейові та комбіновані з'єднання (клеєрізьбові, клеєзварні), які поєднують механічні методи кріплення з клеєм для підвищення герметичності [10].

Клейові з'єднання забезпечують покращену ізоляцію від зовнішніх факторів, зменшують виробничі витрати та сприяють спрощенню конструкторських рішень у сфері мініатюризації. Вони широко застосовуються в тих випадках, коли традиційні механічні методи кріплення є непридатними, наприклад, при з'єднанні оптичних елементів за допомогою прозорих безбарвних клеїв або при фіксації напівпровідникових компонентів.

Одним із ключових факторів, що впливають на якість склеювання, є підготовка поверхонь. Для досягнення надійного зчеплення бажано, щоб поверхні були шорсткими. Цього можна досягти шляхом механічної (шліфування, піскоструминна обробка) або хімічної (травлення у спеціальних розчинах) підготовки. Мінімальна товщина клейового шару (від 0,05 до 0,25 мм)

сприяє підвищенню міцності з'єднання, а також його термо– та вологостійкості, запобігаючи старінню [10].

Для точного взаємного розташування склеюваних елементів у конструкціях передбачають фіксуючі елементи, такі як виступи чи пази.

Клеї вибирають з урахуванням фізико–хімічних властивостей матеріалів, що з'єднуються. За способом тверднення вони поділяються на три основні групи [10]:

- клеї, які тверднуть унаслідок випаровування розчинника;
- клеї, що набувають твердості при охолодженні після нагрівання;
- клеї, що тверднуть унаслідок хімічних реакцій.

У першій групі клей наносять на підготовлену поверхню деталей, після чого видаляється розчинник шляхом випаровування або поглинання матеріалом. Таке з'єднання є оборотним, тобто за певних умов його можна розібрати, однак воно не підходить для застосування в умовах підвищеної вологості та високих температур. До таких клеїв належать гумові, казеїнові тощо [10].

Клеї другої групи перед нанесенням розплавляють, після чого розподіляють по контактній поверхні, з'єднують деталі та витримують їх до охолодження. Вони також є оборотними, оскільки при повторному нагріванні з'єднання може бути зруйноване.

Клеї третьої групи утворюють міцне і необоротне з'єднання. Деякі з них потребують додаткового нагрівання для завершення хімічної реакції. До таких належать синтетичні клеї на основі епоксидних та кремнійорганічних сполук, клеї серії БФ, «Момент» тощо [10].

Міцність клейового з'єднання залежить від його роботи на різні види навантажень. Найкраще воно протистоїть зсувним навантаженням, проте менш ефективно при розтягу чи відриві. Основними факторами, що впливають на міцність, є тип клею, товщина і якість нанесеного шару, а також ступінь зчеплення з поверхнями деталей.

У технічній документації паяні та клейові з'єднання позначають відповідно до стандартів. У кресленнях місця з'єднання позначають суцільними лініями товщиною $2s$ (від 1,2 до 3 мм). На відміну від зварних швів, паяні та клейові з'єднання додатково позначають лінією–виноскою із двосторонньою стрілкою. На ній вказується умовний знак склеювання (Рис. 8.6, а), виконаний основною лінією [10].

У технічних вимогах креслення зазвичай зазначається тип використовуваного клею. Усі шви, виконані клеями однієї марки, об'єднуються під єдиним порядковим номером, який зазначають на відповідній лінії–виносі (рис. 8.6, а) [10].

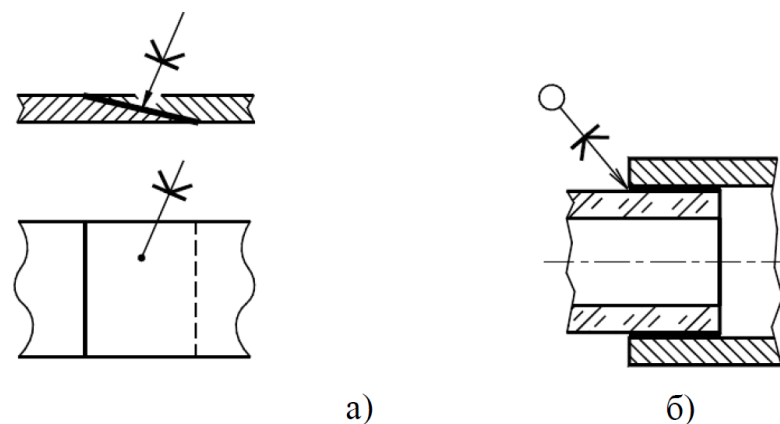


Рис. 8.3. Зображення з'єднання склеюванням

Шви, що виконуються по замкнутій лінії, потрібно позначати колом діаметром 3...5мм, яке виконується тонкою лінією (рис. 8.6, б).

8.3 З'єднання заформовкою

Заформовка є технологічним процесом, який передбачає інтеграцію металевих компонентів (арматури) з матеріалами, такими як скло, пластмаса, гума, а також легкоплавкі сплави цинку, алюмінію та магнію. Це досягається шляхом занурення металевих елементів у формувальний матеріал, що перебуває у в'язкотекучому або рідкому стані. Після затвердіння формувального матеріалу утворюється нероз'ємне з'єднання.

Цей метод широко використовується для виготовлення різноманітних компонентів, таких як рукоятки, кришки, клемові тримачі та деталі для електровимірювальних, оптико–механічних та електронних приладів. Заформовка є єдиним способом отримання газонепроникного з'єднання металевих електродів зі скляними балонами електровакуумних пристроїв.

Процес заформовки має ряд переваг. Він не вимагає високоточної обробки занурюваних частин арматури, що спрощує виробництво. Поєднання металевих елементів із формувальними матеріалами дозволяє одночасно використовувати їхні корисні властивості, наприклад, електро– та теплопровідність металу разом з ізоляційними характеристиками скла або пластмаси. Це також сприяє зменшенню ваги виробів, економії матеріалів і зниженню загальної вартості продукції.

Для забезпечення міцності та щільності з'єднання під час заформовки застосовують спеціальні конструктивні рішення. Адгезія між арматурою та формувальним матеріалом може бути недостатньою, тому форма занурюваних металевих елементів часто модифікується. До них додають кільцеві проточки, западини, уступи, розширення або загини, що збільшує площу контакту та перешкоджає висмикуванню арматури після затвердіння матеріалу [10].

Завдяки своїм перевагам заформовка знаходить широке застосування в різних галузях промисловості, забезпечуючи надійні та довговічні з'єднання між металевими компонентами та матеріалами з різними фізико–хімічними властивостями. (рис. 8.7). Заформовка є єдиним способом здобуття газонепроникного з'єднання металевих електродів із скляними балонами електровакуумних пристроїв.

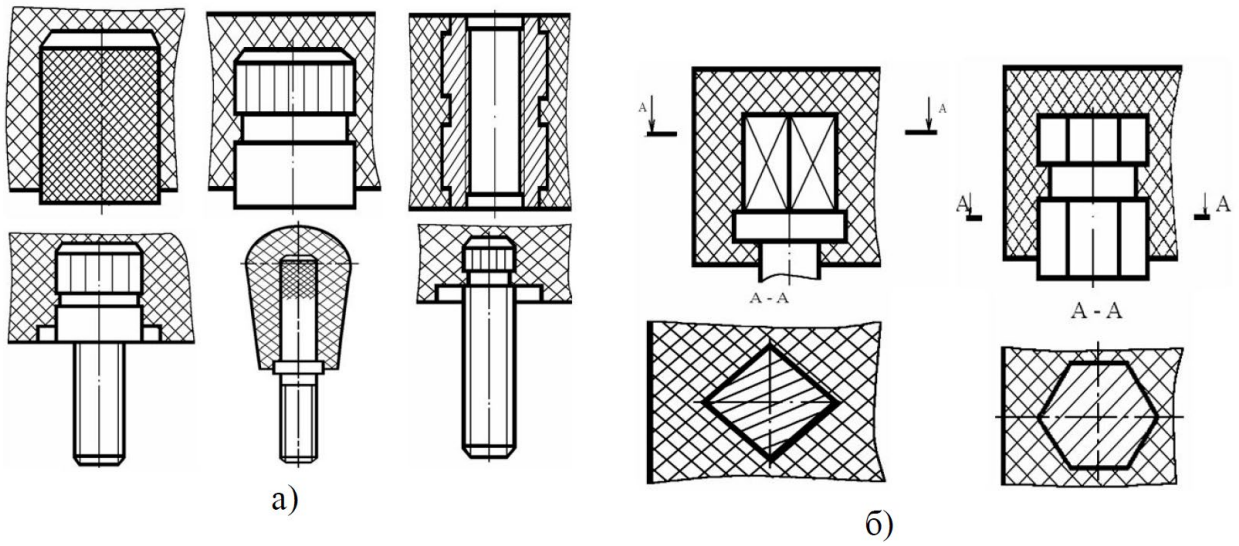


Рис. 8.4. Приклади зображення заформовок деталей а) циліндричної, б) призматичної [10]

Запитання для самоконтролю

1. Які існують види заклепкових швів залежно від кількості рядів заклепок, і які їхні конструктивні особливості?
2. Чим відрізняються заклепкові шви внахлест від швів у стик, і які переваги та недоліки кожного з них?
3. У яких випадках застосовуються міцні, щільні та міцно–щільні заклепкові шви, і які фактори впливають на їх вибір?
4. Які основні типи заклепок використовуються в машинобудуванні, і в яких випадках застосовуються заклепки з сердечником?
5. Які методи використовуються для контролю якості заклепкових з'єднань, і які дефекти можуть виникати в процесі заклепування?
6. Які існують сучасні альтернативи заклепковим з'єднанням, і в яких випадках їх доцільно використовувати?
7. Які матеріали можна з'єднувати за допомогою клейових з'єднань, і які їхні особливості?
8. Які основні вимоги висуваються до клейових з'єднань залежно від умов експлуатації?
9. Які бувають типи клейових з'єднань і для чого застосовуються клеємеханічні з'єднання?
10. Чому перед склеюванням необхідно підготувати поверхні деталей, і які методи для цього використовуються?
11. Як товщина клейового шару впливає на міцність з'єднання, і які вимоги до його товщини існують?
12. У чому полягають відмінності між клеями, що тверднуть при випаровуванні розчинника, охолодженні розплаву та хімічному затвердінні?
13. Що таке заформовка, і які матеріали використовуються для цього типу з'єднань?

Лекція №9. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Роль і частка різьбових з'єднань у конструкціях машин;
- Послідовність операцій при складанні різьбових з'єднань;
- Схеми та принципи рівномірного затягування болтів;
- Методики та засоби стопоріння різьбових з'єднань;
- Вимоги та правила підготовки та монтажу болтових з'єднань;
- Призначення штифтів і їх застосування у фіксації вузлів;
- Конструкція та види шпонок; відмінності клинових, призматичних і сегментних шпонок;
- Технологія складання шпонкових з'єднань і вимоги до посадок;
- Методи контролю та калібровка шпонкових пазів і валів;
- Переваги та призначення шліцьових з'єднань у порівнянні зі шпонковими;
- Типи профілів шліців і критерії вибору профілю;
- Види центрування шліцьових з'єднань і їх вплив на роботу вузла;
- Технологія складання шліцьових з'єднань при різних посадках (рухомі, тугі, напресовування);
- Засоби та методи контролю параметрів шліцьових валів і втулок (комплексні калібри, скоби, пробки);
- Вплив зазорів і співвісності на довговічність і працездатність рухомих з'єднань.

Ключові слова: різьбовий вузол, болт, гайка, шпилька, наживлення, дозатягування, схема затягування, стопоріння, контргайка, стопорна шайба, дротове стопоріння, штифт, шпонка, клинова шпонка, призматична шпонка, сегментна шпонка, шпонковий паз, калібр-пробка, калібр-призма, глибиномір, шліц, шліцьовий профіль, прямобічний шліц, евольвентний шліц,

трикутний шліц, центрування по бокових гранях, центрування по зовнішньому діаметру, центрування по внутрішньому діаметру, напресовування, натяг, зазор, співвісність, комплексний контроль, калібр-скоба, калібр-пробка, калібр-кільце, стрілочний прилад, знос зубців.

9.1 Різьбові з'єднання та їх складання

У машинобудуванні різьбові з'єднання посідають провідне місце серед усіх способів кріплення деталей. Їхня кількість у конструкціях становить близько 15–25% від загальної кількості з'єднань. Така популярність пояснюється низкою факторів: простотою реалізації, високою надійністю, можливістю регулювати силу затягування, а також легкістю демонтажу та повторного використання без пошкодження складових елементів.

Монтаж різьбових з'єднань включає кілька послідовних операцій: встановлення деталей, первинне наживлення, подальше загвинчування, остаточне затягування та, у разі потреби, додаткове підтягування. Завершальним кроком є застосування стопорних пристроїв, що запобігають самовільному розкручуванню під час роботи.

На стадії наживлення болт, гайка або шпилька підводиться до різьбового отвору, вирівнюється по осі й накручується вручну на кілька витків (зазвичай 2–3). Подальше загвинчування виконується за допомогою відповідного інструмента — ключа чи викрутки. Якщо вузол передбачає використання декількох болтів (наприклад, під час кріплення головки блоку циліндрів двигуна), спершу всі елементи вкручуються без остаточного зусилля. Лише після цього здійснюється дозатягування за визначеною схемою. Найбільш поширеним варіантом є спіралеподібна послідовність, що дозволяє рівномірно розподілити навантаження та уникнути деформацій (рис. 9.1).

У випадках, коли різьбові з'єднання працюють під дією вібрацій або змінних навантажень, вони мають схильність до самовідгвинчування. Таке явище може стати причиною серйозних несправностей чи навіть аварій. Для підвищення надійності у подібних умовах обов'язково застосовують різні

способи стопоріння, які забезпечують стабільність і довговічність роботи вузла

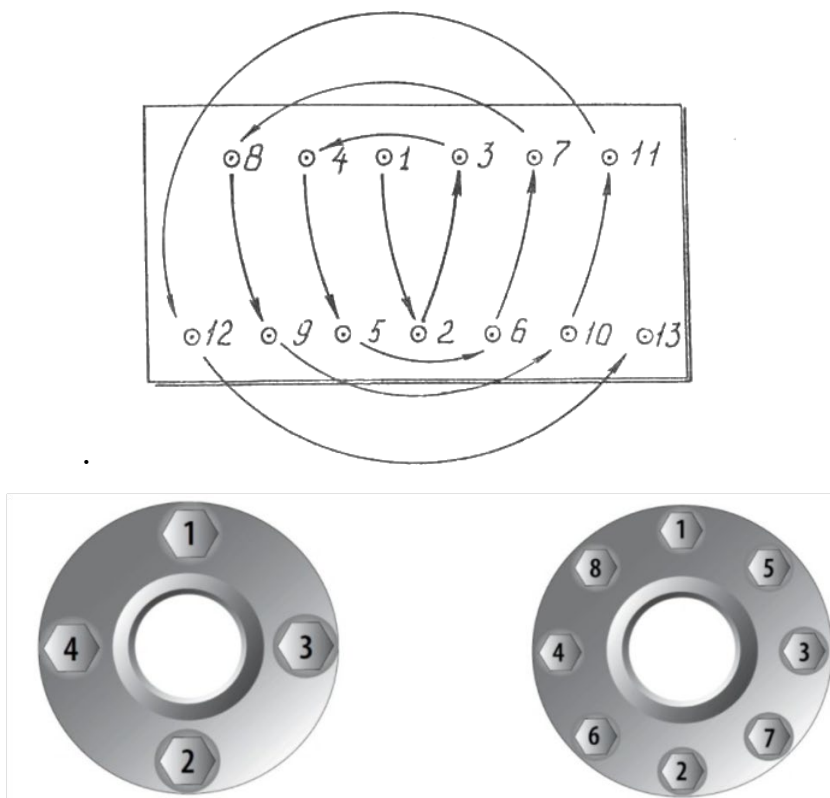


Рис. 9.1. Схема можливої послідовності затягування (дозатяжки) болтів (гвинтів, гайок)

Одним із найпростіших і водночас ефективних методів запобігання мимовільному розкручуванню різьбових з'єднань вважається використання контргайки. Суть способу полягає в тому, що після встановлення й надійного затягування основної гайки зверху нагвинчується ще одна – додаткова. Вона притискається до першої з великим зусиллям, унаслідок чого значно зростає сила тертя як у різьбі, так і між поверхнями гайок. Це й забезпечує стійкість з'єднання до вібраційних і динамічних навантажень.

Досить поширеним способом є також застосування спеціальних стопорних шайб (рис. 9.2). Такі шайби можуть бути виконані з виступом (носиком), який після затягування загинають на одну з граней гайки, або ж мати лапку, що заходить у спеціальний паз на корпусі вузла. Завдяки цьому виключається можливість провертання кріпильного елемента.

Для болтів і гвинтів із виконаними у голівках отворами часто використовують дротове стопоріння. У цьому випадку крізь отвори пропускають дрiт

і закручують його так, щоб натяг кінців створював момент, що утримує з'єднання від розкручування.

До жорсткіших методів належить стопоріння шляхом кернування або навіть приварювання, при яких різьбовий вузол фактично стає нерознімним. Такі рішення застосовують у тих випадках, коли розбирання з'єднання в майбутньому не передбачене.

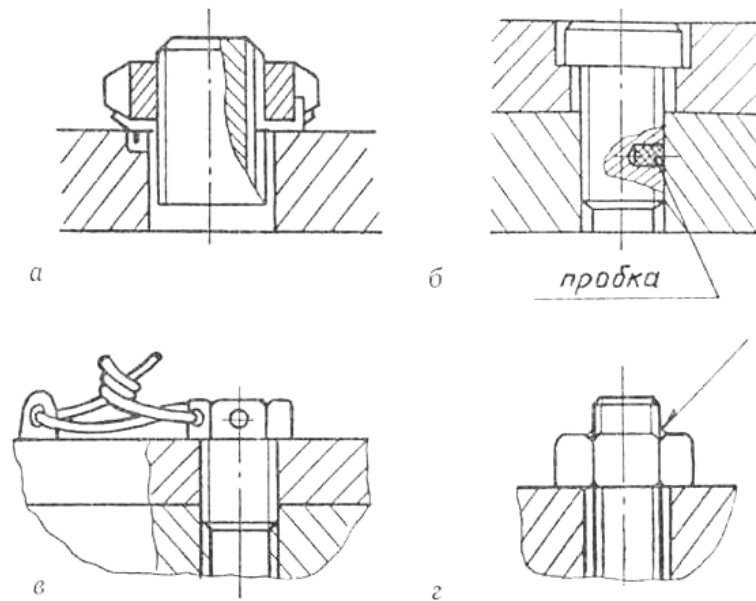


Рис. 9.2. Способи стопоріння різьбових з'єднань: а–стопорною шайбою; б–пробкою; в–дротом; г–зварюванням або керніння

Перед складанням різьбових з'єднань необхідно ретельно підготувати поверхні деталей. Якщо вони виготовлені методом кування або лиття, їх слід обробити (струганням або фрезеруванням) для забезпечення щільного прилягання. У випадках, коли необхідно досягти герметичності, площини можуть піддаватися шабруванню або притиранню.

Складання болтових з'єднань зазвичай здійснюється в кілька етапів. Болти вставляються у відповідні отвори деталей, що з'єднуються, після чого нагвинчуються гайки. Остаточне затягування відбувається після встановлення всіх болтів, що запобігає нерівномірному розподілу навантаження. Якщо болти розташовані по колу (наприклад, на фланцях), затягування здійснюється хрест–навхрест у три етапи. У випадку довгих деталей (наприклад, кришок

блоків двигунів) затягування виконують від середини до країв, щоб уникнути викривлення.

Щоб забезпечити рівномірне зусилля затягування, використовують спеціальні динамометричні ключі, які дають змогу регулювати прикладене навантаження. Після затягування гайок здійснюється їхнє стопоріння.

При складанні різьбових з'єднань також можуть використовуватися контрольні штифти. Вони забезпечують точну фіксацію деталей відносно одна одної. Отвори для штифтів свердлять після вирівнювання деталей. Мінімальна кількість штифтів у з'єднанні—два, і вони мають бути розташовані якомога далі один від одного, наприклад, по діагоналі при з'єднанні прямокутних деталей.

До різьбових з'єднань висуваються певні вимоги:

- гайки повинні бути рівномірно затягнуті;
- у вузлах, що піддаються вібрації або ударам, гайки слід стопорити;
- болт або шпилька повинні виступати над гайкою щонайменше на два витки різьби;
- виступаючі різьбові частини мають бути чистими;
- під гайками та головками болтів не повинно бути зазорів;
- використовувати подовжені рукоятки ключів для збільшення моменту затягування заборонено.

9.2 Складання шпонково–шліцьових з'єднань

Шпонково–шліцьові з'єднання є одним із різновидів нерухомих різних з'єднань, що виконуються за допомогою спеціальних стрижнів – шпонок. Вони застосовуються переважно в механізмах, де необхідно передавати крутий момент. Вибір конкретного типу шпонки визначається умовами експлуатації механізму та характером навантаження. Основними видами шпонок є клинові, призматичні та сегментні.

При складанні шпонкового з'єднання замість традиційної шпонки можливе використання штифта. Такий спосіб забезпечує технологічність за рахунок взаємозамінності деталей, однак вимагає додаткової обробки: необхідно одночасно просвердлити отвір у деталі, що охоплює, і в самому валу, а потім обробити його конусною розгорткою для встановлення штифта.

Процес складання шпонкового з'єднання передбачає такі етапи. Спочатку вал фіксують у лецатах, після чого в його паз встановлюють шпонку, на яку потім насаджують охоплюючу деталь. Важливо, щоб посадка шпонки у паз вала була щільною (встановлення здійснюється з натягом), тоді як у паз маточини вона має сідати з невеликим зазором.

При монтажі колеса, втулки чи іншої деталі на вал слід стежити за правильним розташуванням осей, оскільки навіть незначні зміщення можуть спричинити передчасне руйнування шпонки. Серед основних причин пошкодження з'єднання – надмірний зазор або перекіс осі паза. Для запобігання таким дефектам здійснюють шабріння паза, контролюють відповідність розмірів шпонки та пазів, а також перевіряють відсутність перекосів.

Під час складання шпонкових з'єднань необхідно дотримуватися низки правил. Зокрема, краї шпонкових пазів і самих шпонок повинні бути рівними, без задирок та вм'ятин. Зазори між шпонкою та пазами мають відповідати встановленим технічним нормам. Монтаж шпонки на вал виконується за допомогою мідного молотка або струбцин. Якщо шпонку запресовують, вал необхідно розмістити на опорі. Після складання важливо перевірити, чи залишився зазор між верхньою гранню шпонки та дном шпонкової канавки. Якщо зазор відсутній, з'єднання слід розібрати та зібрати заново, щоб уникнути наклепу та можливого руйнування вузла.

Після встановлення шпонки в паз перевіряють наявність бічного зазору за допомогою щупа, потім насаджують деталь, що охоплює (наприклад, шків або маховик), і контролюють величину радіального зазору, який має відповідати нормативним значенням. У випадках, коли безпосередня перевірка

радіального зазору після складання неможлива, слід попередньо перевірити розміри пазів на валу та в маточині за допомогою спеціальних шаблонів.

Для великих шпонок із щільною посадкою рекомендовано використувати прес для запресовування. У серійному та масовому виробництві припасування призматичних і сегментних шпонок під час складання зазвичай не проводиться. В умовах дрібносерійного або одиничного виробництва допускається коригування, якщо до з'єднання висуваються підвищені вимоги щодо точності.

Надійність шпонкових з'єднань визначається точністю посадки за шириною шпонки b . Решта розмірів обираються так, щоб виключити можливість защемлення шпонки по висоті або надмірного заниження поверхонь контакту бічних сторін.

Щоб гарантувати взаємозамінність деталей у масовому та серійному виробництві, елементи шпонкових з'єднань підлягають ретельному контролю. Для цього застосовують два основних підходи: перевірку за допомогою комплексних калібрів та поелементний контроль окремих параметрів.

Комплексні калібри дозволяють одразу оцінити правильність розмірів паза та його розташування відносно осі вала чи отвору. Так, для шпонкових пазів в отворах використовують спеціальний калібр-пробку (рис. 9.3), а для перевірки валів зі шпонковим пазом – калібр-призму (рис. 9.4). Такі інструменти одночасно контролюють і ширину паза, і його симетричність.

Коли ж необхідно здійснити поетапний контроль окремих розмірів, застосовують цілу систему поелементних калібрів:

- калібр-пробку типу ПР і НЕ – для отвору діаметром d ;
- калібр-скобу ПР і НЕ – для перевірки зовнішнього діаметра вала d ;
- пазовий калібр ПР і НЕ – для контролю ширини паза b ;
- глибиномір ПР і НЕ – для визначення глибини паза (t_1 або $d + t_2$).

Завдяки такому підходу забезпечується висока точність контролю, що є обов'язковою умовою для правильної роботи шпонкових з'єднань у машинобудуванні.

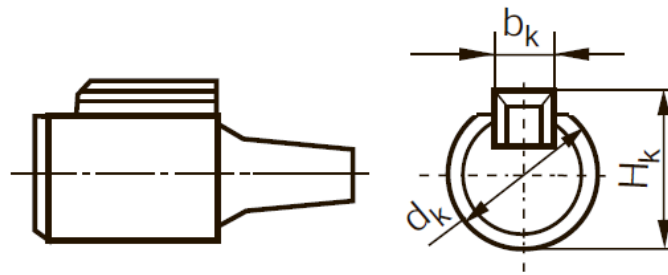


Рис. 9.3. Комплексний калібр-пробка

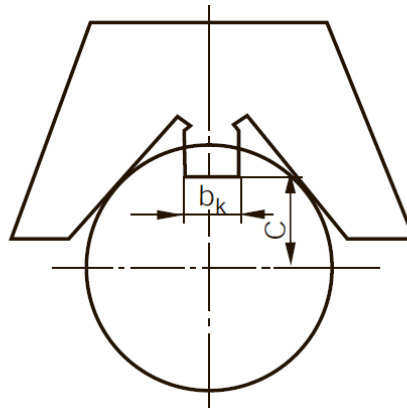


Рис. 9.4. Комплексний калібр-призма

До основних характеристик, які враховуються під час перевірки шпонкових з'єднань, належать:

- b_k – номінальна товщина контрольної шпонки, що використовується у калібрі-пробці та калібрі-призмі;
- d_k – номінальний діаметр калібру-пробки.

H_k – номінальний розмір калібру-пробки зі шпонкою, а також допустимі відхилення для комплексних шпонкових калібрів-пробок і призматичних калібрів.

При перевірці отвору за допомогою комплексної пробки отвір вважається таким, що відповідає встановленим допускам, якщо калібр-пробка вільно входить у нього, а розміри паза (ширина та глибина) залишаються в межах граничних значень.

Для більш детального поелементного контролю можливе використання універсальних вимірювальних інструментів, подібних до тих, що застосовуються при контролі шліцьових з'єднань (див. рис. 9.5).

Наприклад, на рис. 9.5, в показано перевірку симетричності паза втулки відносно осі отвору за допомогою гладкої пробки 4 зі шпонкою 5. При цьому гладка частина пробки відповідає мінімальному допустимому діаметру отвору, а ширину шпонки розраховують із урахуванням допустимого зміщення паза. Придатність визначається тим, наскільки повністю калібр захопить у втулку. Водночас глибина паза таким калібром не перевіряється — між дном паза і площиною шпонки повинен залишатися зазор.

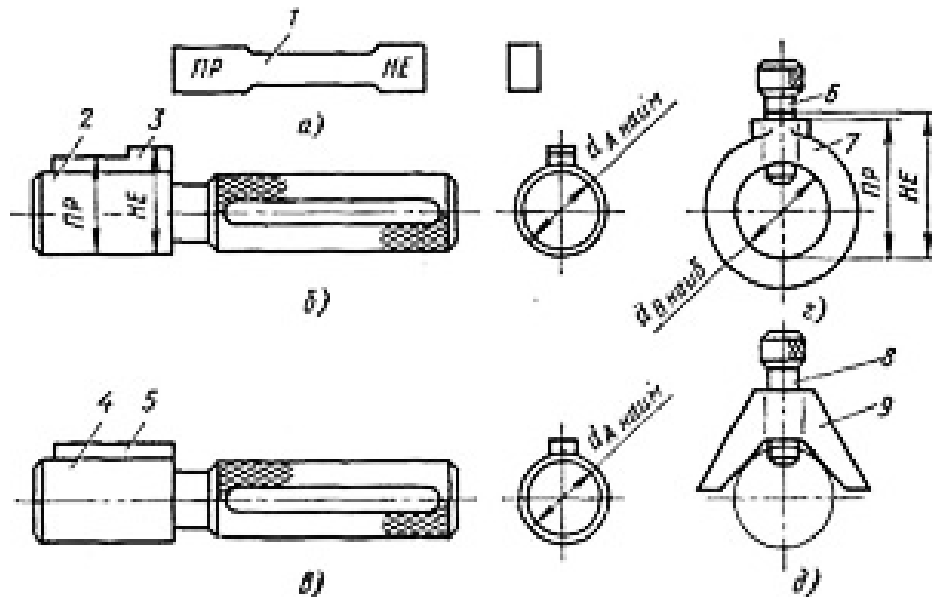


Рис. 9.5. Засоби контролю деталей шпонкових з'єднань

Для перевірки глибини паза на валу застосовують спеціальний кільцевий калібр 7 зі стрижнем 6 (див. рис. 9.5, г). На стрижні нанесено дві відмітки (або виконано дві сходинки), що відповідають прохідному та непрохідному положенням калібру. Якщо деталь виготовлена правильно, то під час дотику торця стрижня до дна паза торець кільця розташовується в межах між цими позначками. Відстань між ними визначає допуск на глибину паза. Діаметр самого кільцевого калібру приймається рівним найбільшому допустимому діаметру вала.

Для контролю точності розташування шпонкового паза відносно осі вала використовується інший калібр — з призмою 9 та стрижнем 8 (рис. 9.5, д). Під час накладання призми на вал стрижень має безперешкодно входити

у шпонковий паз. Якщо ж стрижень упирається у крайки паза, це свідчить про перевищення допустимого зміщення паза відносно осі вала.

9.3 Складання шліцьових з'єднань

Шліцьові з'єднання знаходять широке застосування в машинобудуванні завдяки своїй здатності забезпечувати надійну та ефективну передачу значних крутних моментів.

У порівнянні зі шпонковими з'єднаннями, шліци відрізняються низкою ключових переваг [8, 9]. По-перше, їх використання дозволяє досягати високого рівня точності центрування деталей відносно вала, що особливо важливо при роботі з обертовими вузлами високої точності. По-друге, конструктивні особливості шліцьового з'єднання сприяють мінімальному ослабленню вала; при цьому підвищення кількості шліців дозволяє зменшити глибину западин, що позитивно впливає на міцність валу. По-третє, збірка таких з'єднань не потребує виконання додаткових слюсарних операцій, оскільки точність механічної обробки забезпечує повну взаємозамінність компонентів.

Шліцьові з'єднання можуть виготовлятися з різними профілями зубців: прямобічними, евольвентними та трикутними (рис. 8.6 а, б, в, г). Найбільш поширеними залишаються прямобічні шліци, проте останнім часом дедалі частіше використовуються евольвентні, які забезпечують більш точне центрування деталей. Трикутні профілі застосовуються переважно для вальців невеликого діаметру та при низьких навантаженнях, де вимоги до точності та міцності не настільки високі.

Шліцьові з'єднання з рухомими посадками, як правило, монтують вручну без застосування додаткового припасування. Класифікація таких з'єднань базується на способі центрування втулки відносно вала. Виокремлюють три основні варіанти центрування: по бокових гранях шліців (рис. 8.6д), по зовнішньому діаметру (рис. 8.6е) та по внутрішньому діаметру (рис. 8.6ж).

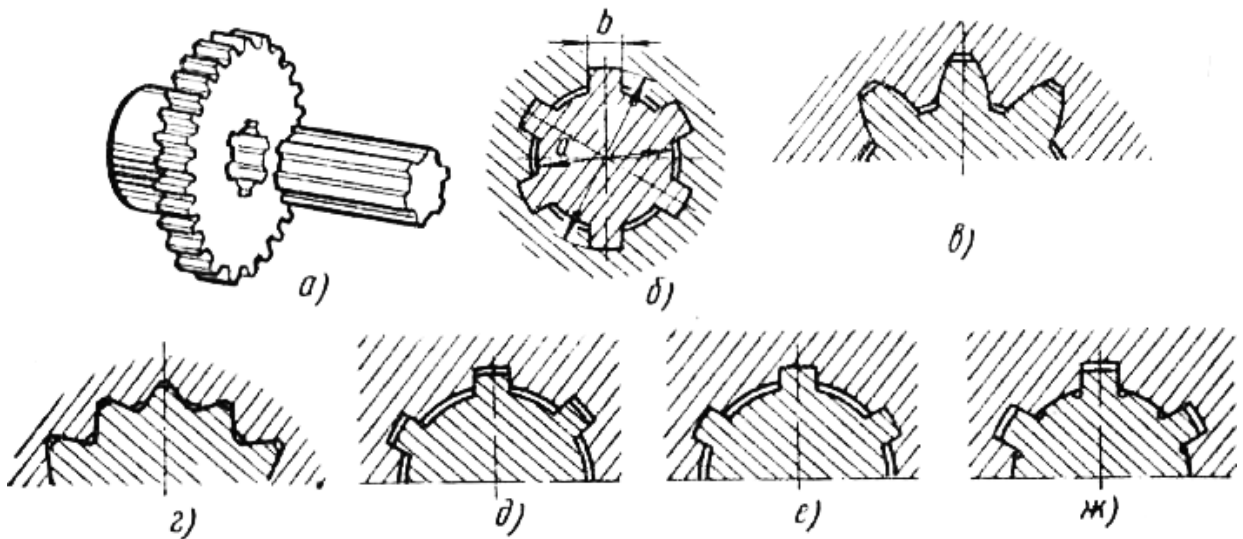


Рис. 9.6. Шліцьові з'єднання: а, б—прямобічне, в—евольвентне, з—трикутне, д—центроване по бічних сторонах, е—центроване по зовнішньому діаметру, ж—центроване по внутрішньому діаметру [8]

Якщо точність центрування не є критичною, а пріоритетом виступає міцність з'єднання, наприклад у карданних вузлах автомобілів, застосовують центрування по бічних гранях шліців. У механізмах, де необхідна висока кінематична точність, таких як верстати або автомобільні трансмісії, віддають перевагу центруванню по одному з діаметрів. Центрування по зовнішньому діаметру вважається більш економічним і часто використовується для деталей без термічної обробки або тих, що піддаються калібруванню протяжкою. Якщо ж твердість матеріалу деталі не дозволяє застосовувати калібрування, обирають центрування по внутрішньому діаметру.

Перед складанням шліцьового з'єднання обов'язковим є ретельний візуальний огляд деталей, щоб виключити наявність задирок, забоїн або інших пошкоджень. Для запобігання заїданню шліців особливу увагу приділяють правильному виконанню фасок на торцях деталей та заокруглень шліців.

У важкорознімних (нерухомих) шліцьових з'єднаннях із глухою, тугою або щільною посадкою ступицю напресовують на вал за допомогою спеціальних пристроїв або пресів. Використання молотка чи кувалди не рекомендується, оскільки нерівномірні удари можуть призвести до задирок або перекосу деталей. Для полегшення монтажу тугих з'єднань допускається нагрів охоплюючої деталі до 100–120 °С перед напресуванням, після чого

перевіряють точність складання. Зменшити сили тертя при установці допомагає попереднє міднення (для посадки з зазором) або свинцювання шліців (для посадки з натягом), при цьому товщина покриття не враховується у розрахунках зазору чи натягу [8, 9].

Легкорознімні та рухомі шліцьові з'єднання встановлюють вручну або під дією невеликих зусиль. Під час складання контролюють биття деталей та відсутність надмірної хитавиці при переміщенні по шліцах. Надмірні зазори можуть спричиняти перекіс деталей, особливо за несиметричного навантаження. У правильно зібраній конструкції переміщення деталей відбувається плавно, без заїдань, а допустима хитавиця під дією крутного моменту мінімальна.

Співвісність шліцьового вала та охоплюючого отвору є визначальним фактором ефективності рухомих з'єднань. Ідеальна співвісність забезпечує контакт усіх шліців вала та рівномірний розподіл навантаження. У випадку порушення співвісності з'єднання функціонує менш ефективно, що слід враховувати при складанні.

Тривалість експлуатації шліцьових з'єднань значною мірою залежить від величини зазорів по центрувальному діаметру. Наприклад, великі зазори у привідних валах зі шківками можуть скоротити термін служби до півроку, тоді як невеликі зазори забезпечують експлуатацію до трьох років. Основним фактором виходу з ладу є зношування бічних поверхонь зубів, яке може досягати 0,5–3 мм. Зменшення зазорів із 40 до 10–20 мкм дозволяє знизити навантаження на бічні поверхні зубів та зменшити тертя в 1,5–2 рази [8].

Контроль якості шліцьових з'єднань здійснюють диференційованим або комплексним методом. Для перевірки зовнішнього та внутрішнього діаметрів, а також товщини зубів використовують граничні калібри–скоби (Рис. 9.7, а) та калібри–пробки (рис. 9.7, б). У комплексному контролі отвір вважається придатним, якщо калібр–пробка проходить, а розміри пазів відповідають допускам; вал визнається придатним, якщо калібр–кільце проходить, а діаметри та товщина зубів не перевищують встановлених меж. Методи

перевірки зовнішнього діаметра D шліцевого валу та внутрішнього діаметра втулки подібні до перевірки гладких валів і отворів, враховуючи стандартну парну кількість зубів ($Z = 6, 8, 10$).

Комплексний контроль включає оцінку сумарних відхилень товщини зубів валів та ширини заглиблень втулок із застосуванням калібрів–пробок і калібрів–кілець. Калібри–пробки (рис. 9.8, а) можуть мати одну напрямну (для деталей із центруванням по зовнішньому діаметру або по бічних гранях) або дві напрямні (для деталей із центруванням по внутрішньому діаметру). Калібри–кілець (рис. 9.8, б) містять шліцеву частину та гладку напрямну поверхню А для перевірки валів [8]. Для шліцевих валів комплект калібрів включає три скоби (Рис. 9.9, а).

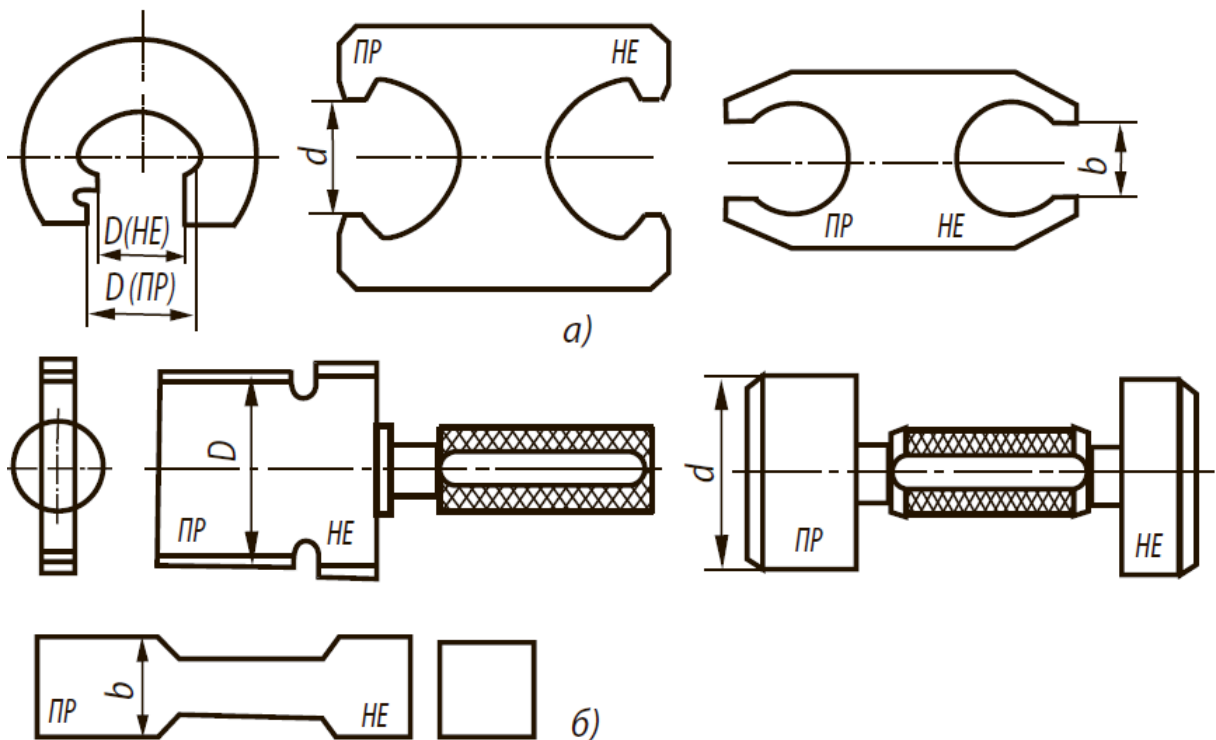


Рис. 9.7. Поелементні калібри для шліцевих виробів: а – скоби; б – пробки

У кожній деталі шліць контролюють уздовж всієї його довжини. Зовнішній діаметр перевіряють у кількох поперечних перетинах по довжині шліца, а внутрішній діаметр – шляхом насування скоби з торця по западинах у декількох поздовжніх перетинах. Для втулки застосовують аналогічний комплект (рис. 9.9, б), що включає калібр–пластину для контролю ширини пазів, гладку пробку для перевірки внутрішнього діаметра та листову пробку для

контролю зовнішнього діаметра по западинах втулки. Товщину зубів визначають за допомогою універсальних вимірювальних засобів, таких як мікрометр, горизонтальний оптиметр зі спеціальними наконечниками, плоскопаралельні кінцеві міри тощо.

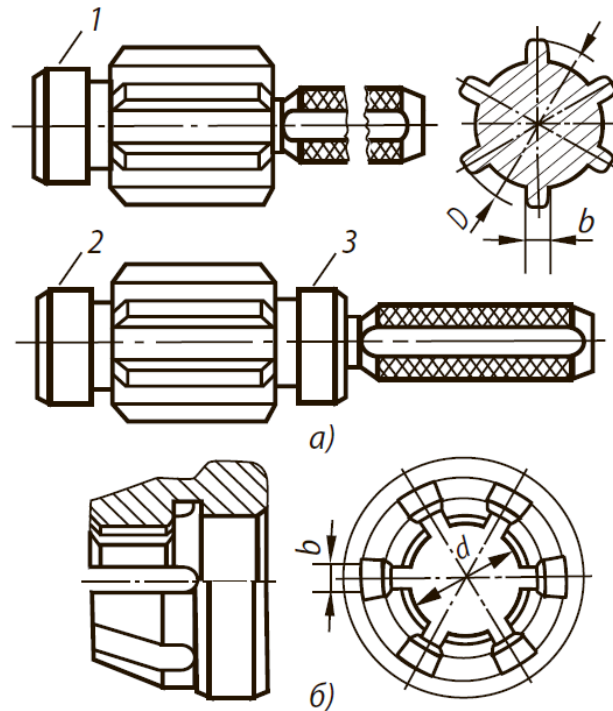


Рис. 9.8. Комплексні калібри для шліцьових виробів: а – пробки; б – кільце

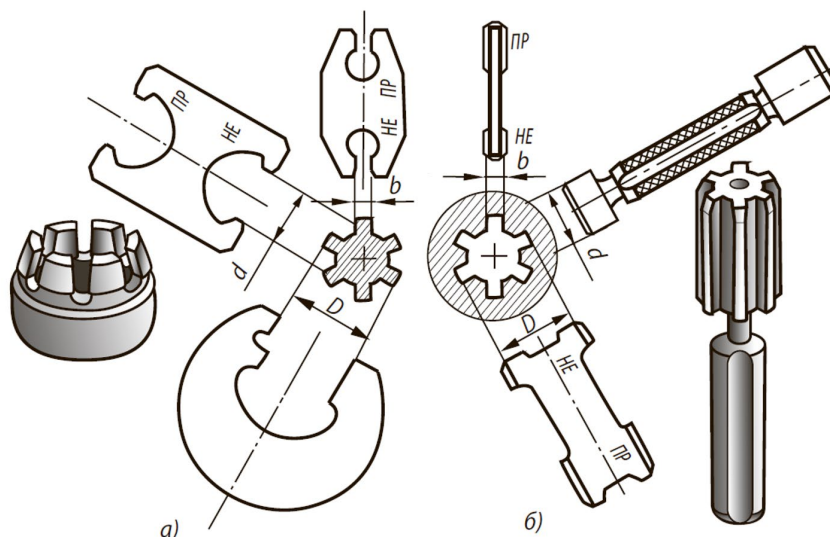


Рис. 9.9. Контроль шліцьових валів за допомогою скоб (а) і стрілочних приладів (б)

Ширину западин між зубами визначають за допомогою блоку кінцевих мір. Для контролю відхилень форми та розташування бічних сторін зубів і

пазів застосовують перевірну плиту у поєднанні з ділильною головкою та стрілочним (аналоговим) приладом, наприклад індикатором із ціною поділки 1–2 мкм, встановленим на стійці.

У випадку, коли шліцьове з'єднання центрують за внутрішнім діаметром d , відхилення осі шліців відносно осі центрувального отвору контролюють накладним важільно–мікрометричним приладом (рис. 9.10, а) або за допомогою установки в центрах на контрольній плиті з підкладками та стрілочним приладом, закріпленим на стояку (рис. 9.10, б).

Аналогічним чином, при centruванні по внутрішньому діаметру здійснюють перевірку співвісності циліндричних поверхонь, що визначаються внутрішнім і зовнішнім діаметрами сполучення, згідно з наведеною схемою (рис. 8.10, в). Шліцьовий вал встановлюють у центрах на повірочній плиті, а контроль проводять за допомогою стрілочних приладів 1 та 2, закріплених на стійках.

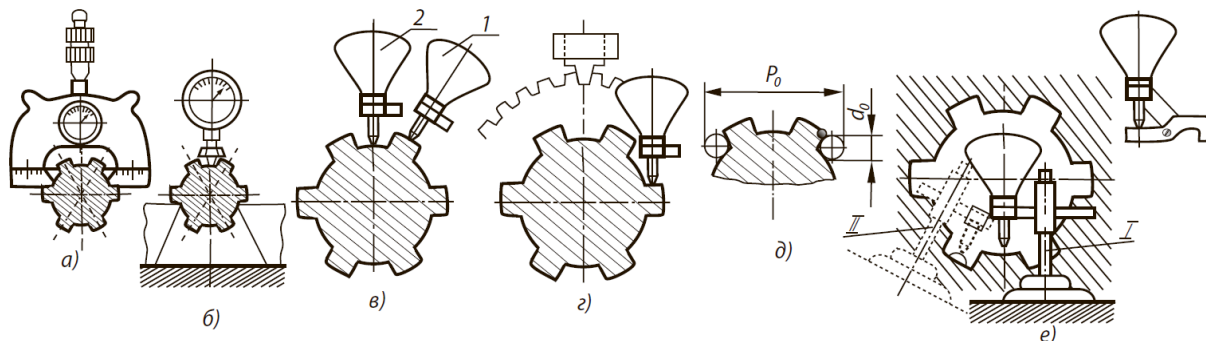


Рис. 9.10. Контроль шліцьових прямобічних з'єднань за допомогою універсальних вимірювальних засобів

Контроль кроку шліцьового валу здійснюють на повірочній плиті за допомогою ділильної головки та стрілочного приладу, закріпленого на стояку відповідно до схеми, наведеної на рис. 9.10, г. Альтернативний метод передбачає використання пари вимірювальних роликів діаметром $d_0 = ((D - d)/2) + 1$ мм; розмір P_0 за роликami вимірюють блоком кінцевих мір із боковичками, затиснутими в струбціні (рис. 9.10, д). Розмір P_0 пов'язаний із товщиною зуба в таких співвідношеннях: $P_0 = \sin\alpha(d + d_0) + d_0$, де $\alpha = (180^\circ x/N) + \beta$; N –

кількість зубів; x – кількість западин, що розташовані між роликами; $\sin\beta = (b + d_0)/(d + d_0)$.

Сумарну похибку кроку шліців перевіряють тими ж методами, що й під час контролю зубчастих коліс.

Вимірювання параметрів шліцьової втулки здійснюють подібно до вала, однак у цьому випадку стрілочні прилади обладнані спеціальними важелями, які забезпечують контакт з бічними поверхнями западин. Для втулок, виготовлених шляхом ділення, перевірку співвісності циліндричних поверхонь із діаметрами D та d проводять за схемою, наведеною на рис. 6.10, е, що відповідає схемі на рис. 9.10, в.

Запитання для самоконтролю

1. Яку роль відіграють різьбові з'єднання у машинобудуванні та чому вони такі поширені?
2. Які основні етапи входять до процесу складання різьбових з'єднань?
3. Чому під час складання вузлів із кількома болтами затягування виконують за певною схемою?
4. Які способи стопоріння різьбових з'єднань застосовуються для запобігання самовідгвинчуванню?
5. У яких випадках допускається застосування незнімних способів стопоріння, таких як кернування або приварювання?
6. Які вимоги висуваються до різьбових з'єднань після складання?
7. Яке призначення шпонково-шліцьових з'єднань і які основні типи шпонок використовуються?
8. У чому полягає різниця між посадкою шпонки у паз вала та у паз маточини?
9. Які основні причини передчасного руйнування шпонкових з'єднань і як їх уникнути?
10. Які інструменти застосовуються для контролю точності розмірів і розташування шпонкових пазів?
11. У чому полягає відмінність між комплексним та поелементним контролем шпонкових з'єднань?
12. Які основні переваги шліцьових з'єднань порівняно зі шпонковими?
13. За якими ознаками класифікують шліцьові з'єднання за способом центрування?
14. Які правила слід дотримуватися під час складання шліцьових з'єднань із тугою посадкою?
15. Які методи контролю якості шліцьових з'єднань застосовуються у виробництві і які параметри вони перевіряють?

Лекція №10. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ (продовження)

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Призначення та класифікація підшипників ковзання;
- Конструктивні особливості нерознімних та рознімних підшипників;
- Технологічна послідовність складання нерознімних підшипників ковзання;
- Методи встановлення втулок у корпус (запресовування, охолодження, фіксація);
- Контроль точності, співвісності та якості посадки втулок;
- Процес складання рознімних підшипників ковзання: підгонка, шабрування, регулювання зазорів;
- Методи контролю радіальних і осьових зазорів; оцінювання співвісності;
- Притирка і приборка підшипникових вузлів;
- Особливості складання суцільнопресованих підшипників і спечених втулок;
- Конструкція та порядок складання підшипників рідинного тертя;
- Технологічна послідовність складання підшипників кочення;
- Контроль точності поверхонь валів і корпусів під час складання підшипників кочення;
- Методи встановлення підшипників (холодне і гаряче складання);
- Особливості монтажу підшипників з конічними отворами;

Ключові слова: підшипники ковзання, підшипники кочення, рідинне тертя, гідродинамічне змащування, гідростатичне змащування, втулка, вкладиш, корпус, запресовування, оправка, натяг, зазор, співвісність, фіксація, штифт, стопор, гвинт, шпонка, динамометричний ключ, прокладки, притирка, шабрування, приборка, мастило, спечені втулки, суцільнопресовані

матеріали, бабіт, бронза, графіт, підшипник рідинного тертя, клиновий зазор, ущільнювальне кільце, підшипник кочення, конічна шийка, концентричність, нутромір, індикатор, прес, монтажна оправка, індукційний нагрівач, масляна ванна, холодне складання, гаряче складання, стиснена втулка, демонтажна втулка.

10.1 Складання підшипників ковзання

Підшипники належать до базових елементів сучасних машинобудівних конструкцій, оскільки забезпечують можливість відносного обертання деталей при мінімальних втратах енергії на тертя. Функціонування більшості механізмів неможливе без застосування підшипників. Вибір їх типу зумовлюється призначенням машини, її технічними характеристиками, умовами експлуатації, а також вимогами до складання, розбирання, регулювання та технічного обслуговування [8].

Найбільш поширеними в сучасній техніці є підшипники ковзання та кочення; дещо рідше застосовуються підшипники рідинного тертя, що працюють на основі гідродинамічного або гідростатичного принципів.

У підшипниках ковзання контакт здійснюється між внутрішньою поверхнею втулки (або вкладиша) та шийкою вала, де виникає тертя ковзання. Залежно від конструктивного виконання такі підшипники поділяються на дві групи: нерознімні (суцільні) та рознімні.

Нерознімні підшипникові вузли виконуються зі сталевим або чавунним корпусом, у якому передбачена базова поверхня (горизонтальна чи вертикальна) та отвір із запресованою втулкою з антифрикційного матеріалу (бронзи, бабіту, фторопласту тощо).

Рознімні підшипники складаються з основи та кришки, які з'єднують між собою болтами чи шпильками; у корпусі можуть бути розміщені верхній і нижній вкладиші, або ж вал працює безпосередньо у втулках [8].

Процес складання нерознімних підшипників ковзання передбачає такі основні операції:

- ретельне очищення корпусу від забруднень та залишків мастила;
- перевірку точності розмірів отвору під втулку;
- підготовку втулки, що включає очищення та контроль геометрії;
- запресовування втулки в корпус за допомогою преса чи спеціальних оправок;
- закріплення втулки від провертання (шпонкою, гвинтом або штифтом);
- остаточну механічну обробку внутрішньої поверхні втулки (розточування, шабрування, доведення) з метою досягнення необхідного зазору з валом;
- нанесення мастильного матеріалу;
- установлення вала у втулку;
- контроль правильності взаємного розташування втулки і шийки вала.

Втулки, що встановлюються з натягом за 2–3-м квалітетом точності, монтують такими методами [8]:

- запресовуванням за допомогою оправок і ударного інструменту;
- використанням механічних або гідравлічних пресів;
- установленням після попереднього глибокого охолодження (наприклад, у рідкому азоті), що застосовується переважно для тонкостінних втулок;
- кріпленням із використанням клеїв та спеціальних фіксуючих складів (у випадках монтажу з невеликим зазором).

З метою запобігання перекосам під час монтажу застосовуються спеціальні пристрої (рис. 10.1, а). У такій схемі втулка 1 розташовується на оправці 2, яка центрується у стояку 3. При опусканні штока преса оправка разом із втулкою плавно переміщується, забезпечуючи точність запресовування у корпус 4.

Після монтажу внутрішній діаметр втулки, як правило, зменшується. Тому він підлягає обов'язковій перевірці калібрами або контрольним валом. У випадку виявлення відхилень внутрішню поверхню втулки додатково обробляють — здійснюють легке розточування спеціальними оправками, розкочування сталевими кульками або доведення шабруванням [8].

В умовах автоматизованих виробничих ліній подача втулок здійснюється механізовано. Зокрема, у пристрої з бункерною подачею (рис. 10.1, б) деталь 6 встановлюють на напрямний палець 7, після чого втулка 5 переміщується зі східчастої поверхні пальця, що має заокруглення для полегшення орієнтації.

Таким чином, правильна підготовка корпусу та втулки, а також дотримання технологічних умов монтажу забезпечують необхідну точність посадки, зменшують ризик перекосів і підвищують довговічність підшипникових вузлів.

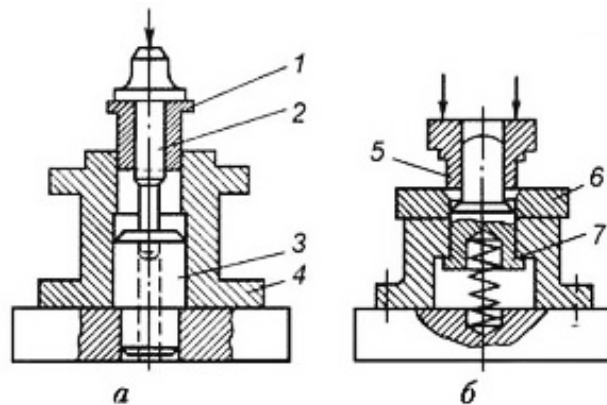


Рис. 10.1. Схема запресовування підшипникових втулок: а—на центрувальному пристрої; б—під час автоматизованого запресовування; 1, 5—втулки; 2—оправка; 3—стояк; 4—корпус; 6—деталь; 7—палець [8]

Перед процесом запресовування втулки необхідно провести ретельний контроль її стану. Зокрема, спряжувані поверхні очищають від забруднень, гострі кромки на торцях зачищають, а за наявності значних натягів деталі змащують чистим машинним мастилом. У випадку використання технології охолодження втулки рідким азотом або нагрівання корпусу підшипника спряжувані поверхні попередньо знежирюють, при цьому важливо

забезпечити рівномірність температурних впливів. Отвори для підведення мастила у втулці та корпусі повинні бути суміщені [8].

Після встановлення втулки в корпус її додатково фіксують від повертання за допомогою гвинтів, штифтів або гладких стопорів [8]. При використанні різьбового стопора (рис. 10.2, а) у втулці виконують глухий або наскрізний отвір. У випадку фіксації штифтом (рис. 10.2, б) через буртик втулки у корпусі свердлять отвір, у який із натягом установлюють штифт, після чого його торець розкернують. Для закріплення гвинтом (рис. 10.2, в) спочатку свердлять отвір під різьбу, а також зенкують його під головку гвинта, яка повинна бути втоплена на 0,2–0,3 мм відносно торця. Аналогічний спосіб застосовують при використанні різьбового штифта (рис. 10.2, г).

Гладкий стопор (рис. 10.2, г) утримується в корпусі за рахунок натягу та деформації металу: отвір у корпусі готують до запресовування втулки, а у самій втулці – після її встановлення. При фіксації штифтом по дотичній (рис. 10.2, д) отвір у втулці виконують за вже наявним отвором у корпусі, після чого штифт установлюють легкими ударами молотка, що дає змогу уникнути деформації втулки.

Після завершення операції запресовування підшипника здійснюють перевірку стану його робочої поверхні, геометричної форми отвору, розмірів та збігу осей. У разі деформації втулки, що може проявлятися у вигляді овальності, конусності, перекосів або пошкодження робочої поверхні, у підшипнику можливе виникнення локальних зон сухого тертя, що значно прискорює знос деталей. Робоча поверхня повинна бути без подряпин, тріщин чи відшарувань антифрикційного матеріалу. Якість посадки контролюють під час попередньої перевірки розмірів спряжуваних деталей або за величиною зусилля, необхідного для запресовування [8].

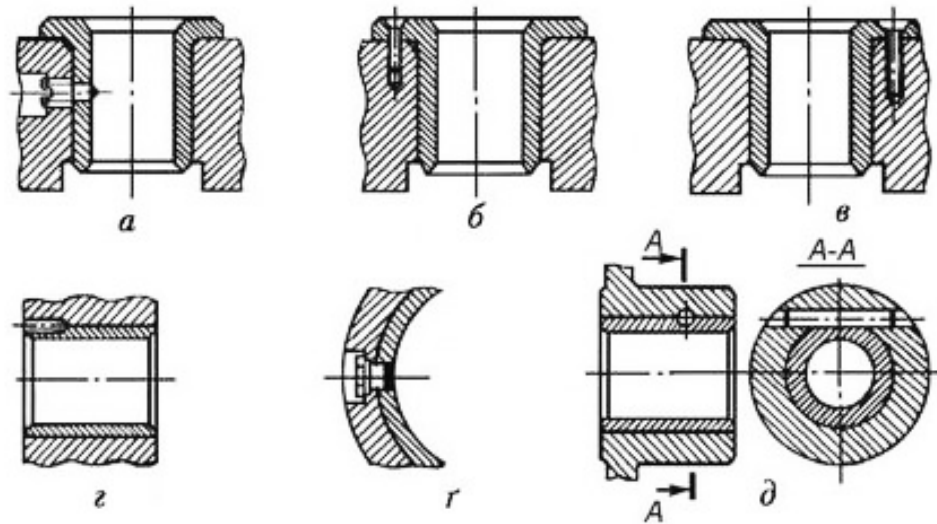


Рис. 10.1. Способи закріплення втулок у корпусі підшипника: а – різьбовим стопором; б – штифтом; в – гвинтом; г – різьбовим штифтом; е – гладким стопором; д – штифтом по дотичній [8]

10.2 Складання різних підшипників ковзання

Залежно від конструктивного виконання різні підшипники класифікують на товстостінні та тонкостінні.

У дрібносерійному та індивідуальному виробництві складання починається з ретельної підгонки вкладишів. На першому етапі здійснюється перевірка відповідності зовнішньої поверхні вкладиша посадковому гнізду корпусу підшипника із застосуванням індикаторної фарби та щупів. При цьому щуп товщиною 0,25 мм не повинен вільно проходити в зоні контакту. Наступним етапом є доведення робочої поверхні вкладиша до шийки вала. У процесі шабрування фарбовий відбиток повинен займати 75–80 % площі поверхні. Для вкладишів, що працюють під значними навантаженнями, нормується не менше п'яти плям контакту на 1 см², а для менш навантажених – не менше чотирьох [8].

Для відповідальних вузлів правильність установлення перевіряється після кількох обертів вала: рівномірне утворення блиску на поверхні вказує на якісне прилягання. Остаточна підгонка виконується лише після встановлення кришок підшипника. Затягування різьбових з'єднань здійснюють динамометричними ключами, при цьому після кожного етапу контролюють легкість

обертання вала. Якщо спостерігаються відхилення, вузол розбирають і проводять повторне шабрування обох частин вкладиша.

Розмір радіального зазору визначають за допомогою щупів, шматків м'якого свинцевого дроту або каліброваних прокладок різної товщини. Дріт укладають у кількох місцях як уздовж, так і впоперек осі вала. Регулювання зазору здійснюють введенням прокладок товщиною 0,05–0,8 мм між корпусом та кришкою підшипника [8].

У масовому виробництві вкладиші виготовляють із забезпеченням взаємозамінності, тому припасування не виконується. Послідовність складання полягає у встановленні нижньої частини вкладиша, змащуванні його робочої поверхні, монтажі вала, укладанні верхньої частини, введенні прокладок (у разі потреби), встановленні кришки, попередньому та остаточному затягуванні кріплень динамометричним інструментом, перевірці плавності ходу та фіксації гайок шплінтами [8].

У серійному виробництві, навіть за наявності взаємозамінних деталей, часто застосовується шабрування. Після початкового складання вкладишів проводять притирку по шийках вала з фарбовим контролем, а точність оцінюють поетапно: затягують один підшипник і перевіряють обертання вала, далі переходять до наступного [8].

Характер обертання вала свідчить про якість складання. Тугіший хід означає занадто малий зазор, перекося або геометричні відхилення. Для усунення похибок виконують додаткову перевірку співвісності отворів і визначають величини радіальних та осьових зазорів [9].

Оцінювання співвісності здійснюють за допомогою макетного вала, щупів, лінійок, а також електричних чи оптичних приладів. Найнаочніший метод полягає у використанні еталонного вала: при збігу осей він встановлюється в отвори без зусилля, у протилежному випадку – застряє.

Для вимірювання радіального зазору використовують свинцевий дріт, діаметр якого на 0,2–0,3 мм перевищує очікуваний. Дріт розміщують між шийкою і вкладишем у кількох місцях. Після затягування кришки та

прокручування вала товщину деформованого дроту вимірюють, визначаючи фактичний зазор. Орієнтовне значення радіального зазору розраховують за формулою: $0,0001D + 0,05$ мм, де DDD – діаметр шийки вала. За необхідності зазор коригується прокладками [8, 9].

Після завершення складання проводять приробку підшипника: вал обертають із подачею мастила, що забезпечує зниження шорсткості поверхонь і збільшення площі контакту. Перегрів у процесі приробки свідчить про помилки складання, дефіцит мастильного матеріалу або некоректне шабрування.

Тонкостінні вкладиші виготовляють із вуглецевої сталі, покритої шаром бабіту, бронзи або алюмінію, а також із біметалевих стрічок. Для швидкохідних механізмів використовують багатошарові конструкції (сталь, металокераміка, бабіт). Фіксація таких вкладишів здійснюється за допомогою виступів, вусиків або пазів. Допустимі відхилення форми посадкових гнізд не перевищують $0,01$ – $0,015$ мм на 100 мм діаметра. Якість прилягання контролюють фарбовим методом: у середній зоні відбиток має займати 90 %, у крайових – 75 – 80 %.

Недостатня висота вкладиша зменшує площу контакту, а надмірна спричиняє його деформацію. У товстостінних конструкціях вкладиші закріплюють штифтами з натягом $0,04$ – $0,07$ мм у корпусі, тоді як у самих вкладишах отвори виконуються з більшим діаметром (на $0,1$ – $0,3$ мм), здебільшого овальної форми, що забезпечує самовстановлення [8].

Фінальною операцією є приробка вузла з подачею мастила: процес починають при малих навантаженнях і невеликих швидкостях обертання, поступово наближаючись до робочих режимів. Це сприяє ущільненню контактних поверхонь за рахунок згладжування мікронерівностей. Оцінка правильності складання здійснюється за легкістю обертання вала та температурою підшипника. Перегрів свідчить про дефекти складання або проблеми у системі мащення.

Коректність монтажу ковзних підшипників визначає надійність роботи механізму в цілому. Співвісність контролюють еталонним валом, струною,

щупом чи оптичними засобами, а осьові зазори – за допомогою індикаторів і щупів [8, 9].

10.3 Суцільнопресовані підшипники

Суцільнопресовані підшипники виготовляють із шарами укладених відрізків тканини або подрібненого деревного шпону. Після просочення синтетичними смолами заготовки піддають сушінню, а далі формують під тиском 40–60 МПа при температурі +155...165 °С [8].

У виробництві втулок підшипників ковзання широкого застосування набули спечені втулки, що отримують із порошкових матеріалів марки ЖГр1,5Д2,5 (склад: 1,5 % графіту, 2,5 % міді, решта — залізо). Завдяки значній пористості такі втулки легко насичуються мастилом, що забезпечує їхню тривалу роботу без потреби у додатковому змащуванні.

Під час складання суцільнопресованих підшипників передбачають збільшений зазор між вкладишем та шийкою вала порівняно з вузлами, де застосовуються бронзові чи чавунні вкладиші. Це зумовлено властивістю матеріалу набухати, що може спричинити заклинювання вала. Оптимальною вважається величина зазору 0,003–0,004 від діаметра, а для підшипників, виготовлених склеюванням пластин, — 0,002–0,004 від діаметра підшипника [8].

10.4 Складання підшипників рідинного тертя

Підшипник рідинного тертя [8, 9] (рис. 10.3) конструктивно складається з двох основних елементів: конічної масивної втулки 9 та вкладиша 8, внутрішня поверхня якого покрита тонким шаром бабіту. Мастильний матеріал подається крізь отвір 7 і відводиться через отвір 12. У процесі роботи масло затягується у клиноподібний проміжок між втулкою 9, закріпленою на шийці вала, та вкладишем 8, що створює необхідні умови гідродинамічного змащування. Осьові навантаження передаються за допомогою притискного кільця 5 на упорне кільце 6.

Закріплення втулки 9 на валу здійснюється шпонкою 11 та кільцем 1, яке накручується на різьбове кільце 2, виконане з двох половин. Кільце 2 встановлюється в кільцевий паз і фіксується за допомогою штифта 3. Для запобігання потраплянню забруднень у робочу зону застосовують ущільнювальні кільця 10. Подушка 15 утримується у станині 14 за рахунок приливка 16 і ексцентрика 13, що обертається на валику 17, з'єднаному з рукояткою 18 [8].

Перед початком складання всі деталі підлягають ретельній перевірці якості виготовлення. Вони промиваються в маслі або бензині, після чого висушуються та покриваються тонким шаром мастила [8].

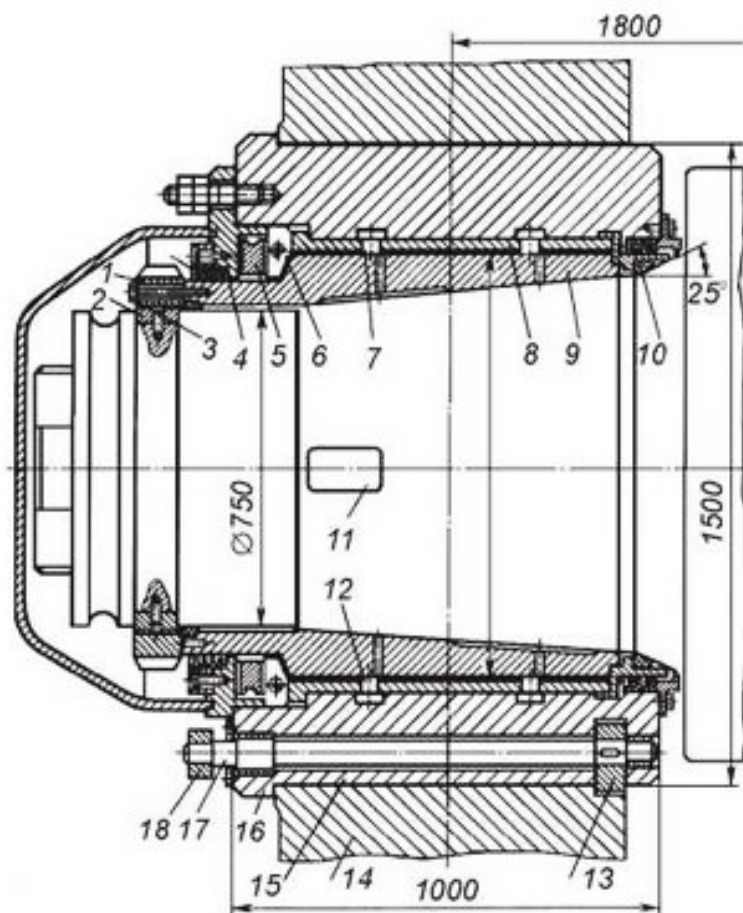


Рис. 10.2. Підшипник рідинного тертя: 1, 2, 5, 6, 10—кільця; 3—штифт; 4—кришка; 7 і 12—отвори для підведення і відведення масла; 8—вкладиш; 9—конічна втулка; 11—шпонка; 13—ексцентрик; 14—станина; 15—подушка; 16—приливок; 17—валик; 18—рукоятка [8]

Підшипник рідинного тертя (рис. 10.3) конструктивно складається з конічної масивної втулки 9 та вкладиша 8, внутрішня поверхня якого покрита тонким шаром бабіту. Мазильний матеріал подається через отвір 7 і

відводиться крізь отвір 12. У процесі роботи масло захоплюється втулкою 9, яка встановлена на шийці вала та обертається у вкладиші 8, у клиноподібний зазор між ними. Це створює умови для утворення мастильної плівки. Осьове навантаження передається за допомогою притискного кільця 5 на упорне кільце 6.

Кріплення втулки 9 на валу здійснюється за допомогою шпонки 11 і кільця 1, яке нагвинчується на різьбове кільце 2, що складається з двох половин. Кільце 2 встановлюють у кільцевий паз і фіксують штифтом 3. Для захисту робочої зони від потрапляння бруду застосовують ущільнювальні кільця 10. Подушка 15 утримується у станині 14 за допомогою приливка 16 і ексцентрика 13, що приводиться в дію валиками 17 та рукояткою 18 [8].

Перед складанням всі деталі перевіряють на якість обробки, очищають у маслі чи бензині, просушують і покривають тонким шаром мастила.

Загальний порядок складання підшипника рідинного тертя такий [8]:

- у подушку 15 запресовують штифт;
- вкладиш 8 встановлюють у подушку так, щоб його паз збігався зі штифтом;
- у подушку монтують втулку-цапфу з півкільцями, використовуючи технологічну шайбу;
- установлюють упорне кільце 6;
- монтують кришку 4 із штифтом, який має ввійти в отвір гайки для її фіксації;
- складений вузол повертають на 180° і закріплюють на задній кришці.

Після складання підшипник монтують на вал із попередньо встановленою шпонкою 11. У кільцевий паз вставляють різьбове кільце 2 та фіксують його штифтом 3. Далі перевіряють правильність прилягання ущільнювальних кілець 10 і виконують пробне прокручування вала. Під час випробування під навантаженням оцінюють роботу вузла. Після цього підшипник розбирають, оглядають робочі поверхні, промивають деталі, а потім здійснюють

остаточне складання з регулюванням і обкатуванням під робочим навантаженням [8].

10.5 Складання підшипників кочення

Перед складанням усі деталі повинні бути ретельно очищені від задирок та забруднень, що залишилися після обробки. Поверхні, які не оброблялись, мають бути очищені від формувального піску та покриті захисним шаром. Необхідно прочистити усі змащувальні отвори та різьби, а гострі краї – заокруглити [12].

Перед установленням підшипника обов'язково перевірити відповідність допусків, геометричну точність і якість поверхонь посадкових місць. Небажано встановлювати підшипники на вали з викривленнями, механічними пошкодженнями або недостатньою геометричною точністю – це загрожує їхньою передчасною відмовою. Тому вал перед складанням перевіряють: залежно від розміру – на токарному верстаті (рис. 10.4) або в призмах із використанням індикатора годинникового типу чи мікрометра.

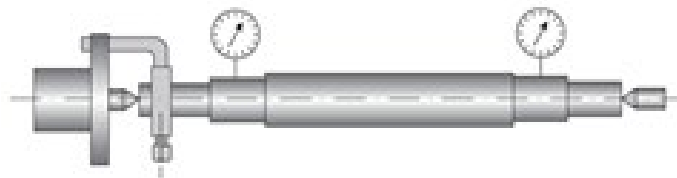


Рис. 10.4. Перед складанням перевіряють допуски, геометричність, точність [12]

Циліндричну шийку перевіряють скобою або мікрометром у двох площинах, перпендикулярних до осі вала (рис. 10.5), виконуючи по два заміри в кожній площині.

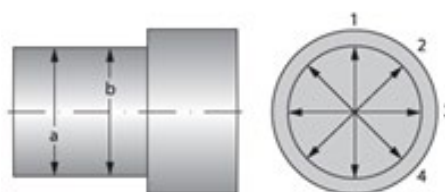


Рис. 10.5. Перевірка скобою або мікрометром у двох площинах циліндричну шийку [12]

Також перевіряють якість фасок і уступів на валу. Дуже важливо, щоб торцева поверхня підшипника щільно прилягала до опорної площини. Значні відхилення від перпендикулярності викликають деформації, які особливо шкідливі на високих обертах (рис. 10.6) [12].

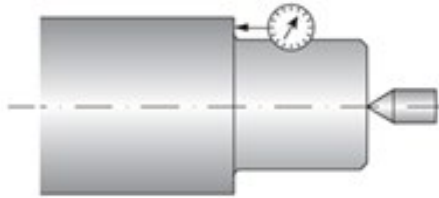


Рис. 10.6. Контроль відхилення від перпендикулярності [12]

Конусні шийки перевіряють конусною лінійкою (зазвичай з конусністю 1:12), яка повинна щільно прилягати до поверхні. Корпуси підшипників перевіряють так само, як і вали (рис. 10.7), за допомогою нутроміра або калібра. Особливо важливо перевірити концентричність поверхонь, якщо встановлюють кулькові або роликові підшипники. У корпусах з рознімною конструкцією перевіряють, щоб після затягування гвинтів не виникало зменшення отвору, що призведе до деформації зовнішнього кільця [12] .

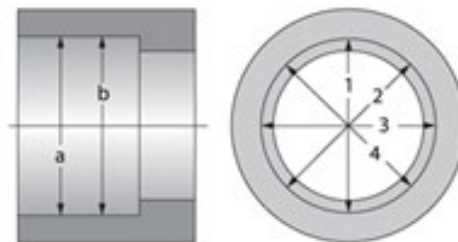


Рис. 10.7. Перевірка концентричності поверхонь [12]

Різні типи та розміри роликових підшипників вимагають різних способів монтажу. У принципі, при складанні не допускаються прямі удари молотком по кільцях, обоймах, сепараторах або тілах кочення. Під час монтажу нерознімних підшипників з натягом зусилля має прикладатися до кільця, яке встановлюється першим. У жодному разі зусилля не повинно передаватись через тіла кочення. Тобто спочатку підшипник монтується на шийку вала,

передаючи зусилля через внутрішнє кільце, а потім всю збірку запресовують у корпус, де зазвичай передбачена ковзна посадка (рис. 10.8) [12].

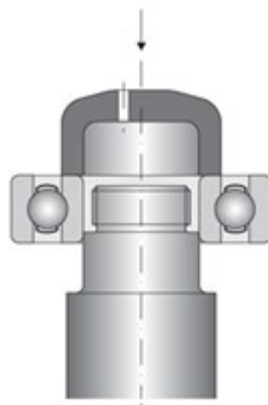


Рис. 10.8. Запресовка підшипника на вал [12]

Якщо встановлюється нерознімний підшипник із натягом як на валу, так і в корпусі, монтажне зусилля повинно прикладатись одночасно до обох кілець (рис. 10.9). Кільця рознімних підшипників можна монтувати окремо одне від одного.

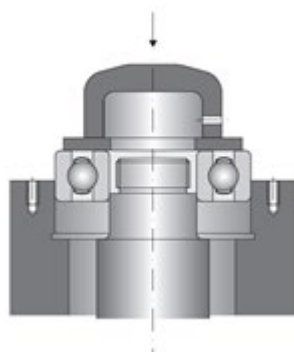


Рис. 10.9. Запресовка підшипника з натягом на вал та в корпус [12]

Підшипники монтується у вузли або холодним, або нагрітим способом.

Холодне складання. Підшипники невеликих розмірів – до діаметра отвору 80 мм – можна монтувати холодним способом при звичайному натягу. Зусилля, необхідне для монтажу, створюється за допомогою преса. Рекомендується виконувати запресовування з використанням монтажних оправок. Якщо пресу немає, невеликі підшипники можна встановлювати легкими ударами молотка через монтажну оправку, прикладену до кільця, яке пресується.

Для холодного складання зручно також використовувати гідравлічні гайки [12].

Гаряче складання застосовується для більших підшипників, кільця яких зазвичай мають більший натяг. У процесі складання внутрішні кільця або вся збірка підшипника, а також корпуси, в які встановлюються підшипники, попередньо нагріваються.

Для швидкого, безпечного та чистого нагрівання підшипників рекомендується використовувати індукційні нагрівачі, які забезпечують рівномірне нагрівання без ризику локального перегріву. Окремі підшипники невеликих розмірів можна нагрівати на електричних плитах з термостатичним регулюванням – при цьому підшипники необхідно кілька разів обертати під час нагріву. Підшипники середнього розміру можна нагрівати гарячим повітрям у термокамерах з термостатичним регулюванням, хоча час нагріву в цьому випадку досить тривалий. Роликові підшипники всіх типів та розмірів можна нагрівати в масляній ванні.

Такий спосіб не підходить для підшипників із ущільненнями, заповнених пластичним мастилом або високоточних підшипників. Масло у ванні повинно мати термостатичне регулювання (зазвичай температура від 80 до 100 °С), хоча зазвичай нагрів проводиться на 50–60 °С вище за температуру навколишнього середовища, тобто до 70–80 °С. Підшипники у ванні мають бути розміщені на сітці або підвішені, щоб уникнути прямого контакту з нагрітою поверхнею, що може спричинити перегрів [12].

Однак нагрівання в масляній ванні має низку недоліків: ризик отримання опіків, забруднення повітря парами оливи, можливість займання гарячого масла та ризик забруднення самого підшипника.

Збірка підшипників з конічним отвором. Підшипники з конічним отвором (борами) монтуються на вал за допомогою стиснених або демонтажних втулок, або ж безпосередньо на конічному шийці. Внутрішнє кільце з конічним отвором завжди встановлюється на шийці міцніше, ніж кільце з циліндричним отвором. Фіксоване положення досягається або шляхом пресування

внутрішнього кільця за допомогою гайки, або через конічну втулку. В обох випадках внутрішнє кільце розширюється, що призводить до зменшення радіального зазору в підшипнику [12]. Тому необхідно визначити метод, який правильно вказує на перекриття. Це можна досягти шляхом вимірювання зменшення радіального зазору за допомогою щупа. Зазор до і після зборки необхідно вимірювати між внутрішнім кільцем і незавантаженим роликівим елементом. Цей метод підходить для підшипників середнього та великого розміру з кульковими роликами. Інші методи, наприклад, вимірювання кута обертання контргайки або вимірювання осьового переміщення внутрішнього кільця на конічному валу. У процесі зборки дворядних кулькових підшипників нахилу можна затягувати гайку фіксуючої втулки до такого рівня, щоб внутрішнє кільце могло плавно обертатися та нахилитися. Метод зборки слід узгоджувати з виробником. Надійність фіксації підшипників з кульковими роликами можна перевірити шляхом вимірювання осьового переміщення внутрішнього кільця на валу або конічній втулці. Початкова позиція для вимірювання цього переміщення досягається, коли контактні поверхні (кільця, втулки, вала) стикаються між собою по всій площі підшипника. Значення осьового переміщення для зборки дворядних підшипників з кульковими роликами з конічним отвором вказано в таблиці 5, розділ «Підшипники з кульковими роликами». Малі підшипники з діаметром отвору до 80 мм можуть бути пресовані на конічний вал, фіксуючу втулку (рис. 10.8) або демонтажну втулку (рис. 10.10) за допомогою кінцевої гайки, що затягується монтажним ключем. Перед зборкою контактні поверхні повинні бути змазані маслом [12].

Більші підшипники потребують набагато більшого монтажного зусилля, тому при їх складанні слід застосовувати гідравлічну гайку або метод масла під тиском, коли масло подається між контактними поверхнями кільця та вала під високим тиском (рис. 10.11).

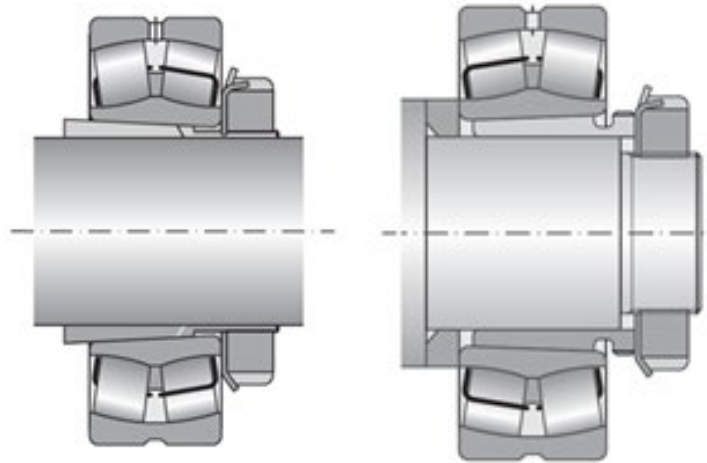


Рис. 10.10. Підшипники з демонтажною втулкою [12]

Це створює масляну плівку, яка зменшує тертя між поверхнями підшипника. Цей метод також можна використовувати для зборки на фіксуючі втулки або демонтажні втулки, які були модифіковані для застосування цього методу. Рекомендується використовувати масло з в'язкістю $75 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 20°C для зборки (номінальна в'язкість при 40°C становить $32 \text{ мм}^2/\text{с}$) [12].

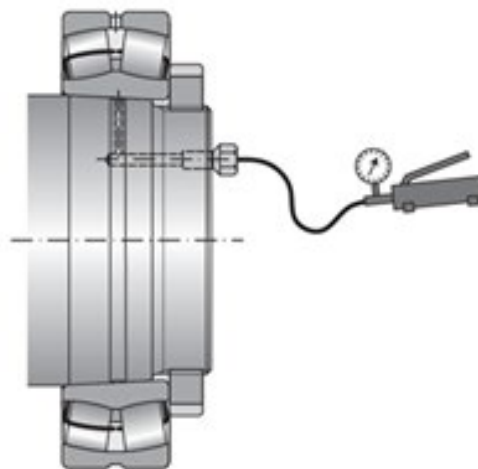


Рис. 10.11. Складання методом масла під тиском, коли масло подається між контактними поверхнями кільця та вала під високим тиском [12]

Голчасті підшипники застосовують у складальних вузлах, на які діють значні інерційні сили, з метою зменшення габаритів і маси механізму. Конструктивно вони складаються з внутрішньої та зовнішньої робочих поверхонь, набору голчастих роликів та бокових обмежувачів. Робочі поверхні формуються спряженими деталями: зовнішньою поверхнею вала та внутрішньою поверхнею втулки. Боковими обмежувачами можуть слугувати кільця

або заплечики. Такі підшипники виготовляють без сепаратора, а щільне прилягання роликів запобігає їх перекосу під час роботи. Радіальний зазор у голчастих підшипниках значно перевищує зазори, характерні для роликкових і кулькових підшипників [8].

Монтаж голчастого підшипника у складанні вузла здійснюють таким чином (рис. 10.12, а): на поверхню проточки валика 1 наносять густе мастило, після чого валик встановлюють у монтажне півкільце 2. У зазор між валиком і півкільцем вводять голчасті ролики, поступово прокручуючи валик для рівномірного розміщення. Після цього на валик насаджують деталь, одночасно зміщуючи монтажне півкільце для остаточного розміщення роликів [8].

У разі монтажу на спеціальному монтажному валу 4 (рис. 10.12, б), зовнішній діаметр якого на 0,1–0,2 мм менший за діаметр робочої осі, голки не розсипаються. Поверхню отвору змащують тонким шаром густого мастила, а іноді ролики можуть бути намагнічені для зручності установки. Голки 3 по черзі вводять у зазор між валом і втулкою або обоймою по 2–3 одиниці, при цьому остання голка повинна входити в підшипник вільно. Після встановлення роликів та бокових обмежувальних кілець 5 (рис. 10.12, в) вставляють робочий вал 6, який витискує монтажний вал 4, залишаючи ролики та обмежувачі на своїх місцях [8].

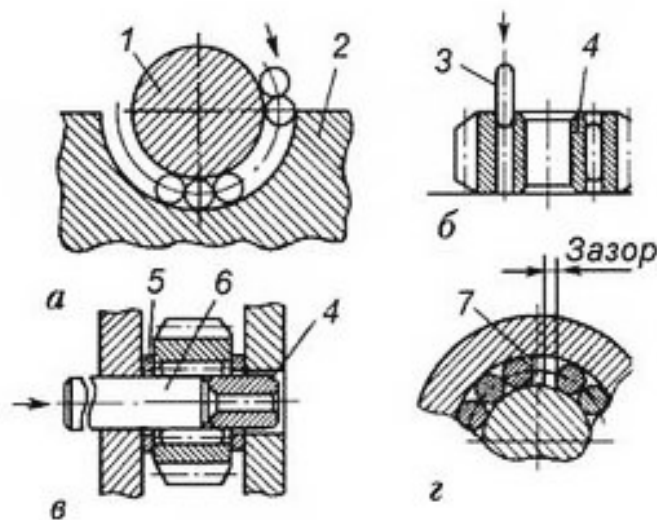


Рис. 10.12. Монтаж голчастих підшипників: а–на монтажному півкільці; б–на монтажному валу; в–установлення вала; г–регулювання зазору; 1–валик; 2–півкільце; 3–голка; 4–монтажний вал; 5–обмежувальне кільце; 6–робочий вал; 7 – прокладка [8]

У деяких конструкціях голчастих підшипників передбачене регулювання зазору під час складання (рис. 10.12, г). Сумарний зазор між голками вимірюють і шліфують прокладку 7 таким чином, щоб різниця між сумарним зазором і товщиною прокладки після її встановлення відповідала необхідному зазору, визначеному кресленням [8].

Монтаж спарених однорядних радіально–упорних підшипників застосовується у вузлах, що зазнають значних осьових навантажень. Встановлення проводять на єдиній шийці вала, при цьому широкі торці зовнішніх кілець розташовують обличчям один до одного. Регулювання осьового зазору здійснюється за допомогою дистанційних кілець: зовнішнє виготовляють за розміром, визначеним проєктом, а внутрішнє підбирають для забезпечення заданого осьового проміжку [8].

У прецизійних підшипникових вузлах для підвищення жорсткості та зменшення биття вала створюють попереднє натяг. Він забезпечується прикладанням постійного осьового навантаження, в результаті якого одне кільце зміщується відносно іншого на величину, що відповідає необхідному натягу. Таке зміщення усуває осьовий зазор та викликає пружну деформацію контактних поверхонь кілець та тіл кочення. Попередній натяг можна створити шляхом закручування регулювальної гайки або кришки, встановлення прокладок між кільцями, використання пружин, розпірних втулок та інших допоміжних елементів [8].

Фіксація внутрішніх кілець забезпечується посадкою, але цього недостатньо для запобігання осьовому зміщенню підшипника під час роботи. Для надійної фіксації застосовують пружинні стопорні кільця, торцеві шайби з кріпильними гвинтами, упорні гайки з додатковими стопорними елементами, розпірні втулки з гайками. Додатково використовують конструктивні елементи корпусу: виступи, заплечики або буртики у корпусі, стакани або кришці, що запобігають зміщенню підшипника.

Для підшипників, які здійснюють осьові переміщення (плаваючі або радіально–упорні), застосовують посадки із зазором або перехідні, що

дозволяють рух кільця в корпусі. Радіальні зазори перевіряють після монтажу підшипника на вал та у корпусі шляхом ручного прокручування або гойдання. Осьові зазори контролюють переміщенням одного кільця відносно іншого. Кільця упорних підшипників перевіряють на наявність осьового биття. У радіально–упорних підшипниках регулювання осьових зазорів проводять зміщенням одного з кілець, найзручніше – через змінні прокладки товщиною від 0,05 до 0,5 мм [8].

Підшипник, встановлений правильно, забезпечує рівномірну роботу, без шумів та вібрацій. Глухий переривчастий звук свідчить про забруднення; свист — про недостатнє змащення або підвищене тертя між робочими елементами; скрегіт або різкі удари сигналізують про пошкодження сепаратора або тіл кочення. Підвищення температури робочого підшипника вище $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ може призвести до часткового відпускання матеріалу і скорочення терміну служби [8].

10.6 Ущільнення підшипників

Ущільнення підшипників застосовують для забезпечення надійності роботи підшипникового вузла, запобігання витіканню мастильних матеріалів з корпусу та захисту від проникнення сторонніх частинок, пилу, вологи, пари, агресивних хімічних речовин або кислот, здатних призвести до передчасного зношування деталей. У промисловій практиці для цієї мети використовуються різноманітні конструктивні елементи: повстяні (фетрові) кільця, кільцеві зазори та спеціальні проточки, захисні фланці та шайби, маслорідбивні кільця, а також манжетні та лабіринтні ущільнення [8].

Фетрові кільця (рис. 10.13, а) забезпечують ефективний захист у підшипниках, що працюють в умовах відносно низької забрудненості середовища. Їх експлуатаційні межі залежать від швидкості обертання вала: 4–5 м/с при шліфованих поверхнях і 7–8 м/с для полірованих валів. Перед монтажем кільця обов'язково просочують технічним жиром або сумішшю, що

складається з 60 % технічного жиру та 40 % рицинової олії, для підвищення змащувальних та герметичних властивостей [8].

Кільцеві зазори та проточки (рис. 10.13, б) призначені для локалізації консистентного мастила, яке заповнює утворені порожнини та утримує пил і вологу поза корпусом підшипника, тим самим збільшуючи термін служби вузла [8].

Захисні фланці та шайби (рис. 10.13, в) можуть бути як рухомими, так і нерухомими. Найвищу ефективність демонструють обертові елементи, особливо при роботі з рідкими мастилами; нерухомі елементи переважно використовуються у вузлах із консистентним мастилом [8].

Масловідбивні кільця та канавки (рис. 10.13, г) виконують функцію запобігання витіканню мастила з корпусу підшипника, особливо при великих швидкостях обертання вала та застосуванні рідких мастил. Їх конструктивне розташування дозволяє ефективно утримувати мастильний шар і зменшувати втрати [8].

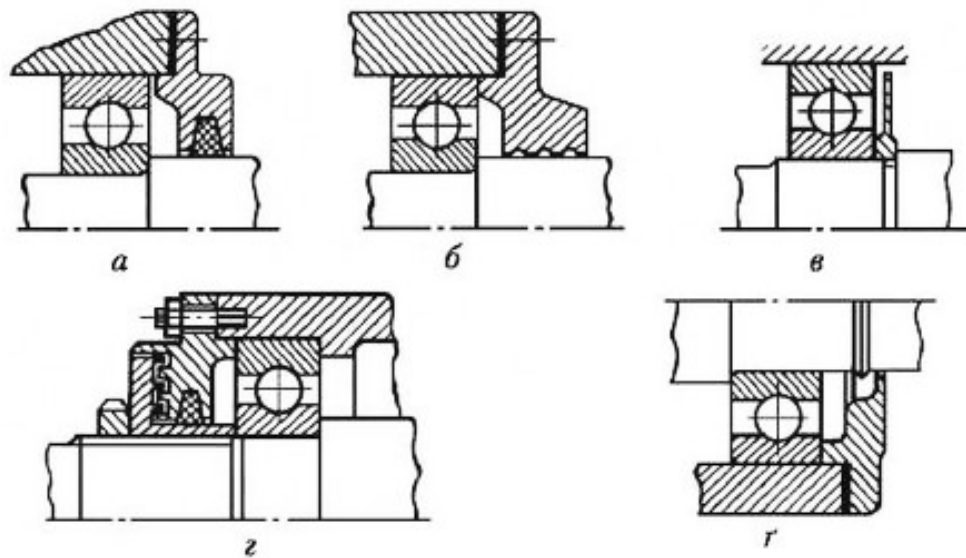


Рис. 10.13. Ущільнювальні пристрої: а–фетрові кільця; б – кільцеві зазори та проточки; в – захисні шайби; г–масловідбивні кільця і канавки; з – лабіринтні ущільнення [8]

Манжетні ущільнення призначені для герметизації валів, що працюють у рідинах: мінеральних маслах, воді або дизельному паливі. Вони витримують тиск до 50 МПа, швидкості до 20 м/с і температурні діапазони від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$

до +150 °С. Манжети виготовляються для валів діаметром 6–500 мм, із зовнішніми діаметрами 16–550 мм та шириною 5–22 мм, забезпечуючи надійне ущільнення та тривалу експлуатацію вузла [8].

Лабіринтні ущільнення (рис. 10.13, г) формують невеликий зазор складної конфігурації між елементами, що обертаються, та нерухомими компонентами підшипникового вузла. Простір цього зазору заповнюється консистентним мастилом, що підвищує герметичність і ефективність ущільнення навіть у складних умовах експлуатації [8].

У конструкціях, де застосовуються фетрові кільця, встановлені в кільцевих проточках, проводиться контроль кільцевих зазорів між циліндричною частиною ущільнювача та валом. Щільність прилягання фетрового елемента оцінюють за допомогою щупа товщиною 0,1 мм. Вхід щупа повинен бути легким, без зазорів, що перевищують норму, щоб забезпечити належне ущільнення [8].

В манжетних ущільненнях перевіряють контакт манжети з валом. Щуп аналогічної товщини повинен входити в зазор з невеликим зусиллям: манжета не повинна надмірно обтискати вал, аби уникнути локального перегрівання та руйнування матеріалу [8].

У лабіринтних ущільненнях контроль зосереджений на перевірці зазорів між рухомими та нерухомими деталями. Забезпечення нормативного зазору є ключовим для збереження герметичності та довговічності підшипникового вузла, оскільки навіть незначне відхилення може призвести до витікання мастила та прискореного зношування деталей [8].

Запитання для самоконтролю

1. Як складають вузли з нерознімними підшипниками ковзання?
2. Яка технологія складання вузлів із рознімними підшипниками ковзання?
3. Охарактеризуйте особливості складання підшипників рідинного тертя.
4. Як контролюють якість складання вузлів із підшипниками ковзання?
5. Як класифікують підшипники кочення?
6. З яких частин складаються підшипники кочення?
7. Які є види підшипників кочення?
8. Назвіть особливості монтажу підшипників кочення на вал.
9. Як установити підшипники кочення в корпус?

Лекція №11. СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЬ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ (продовження)

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Технологія складання зубчастих передач (циліндричних, конічних, черв'ячних);
- Контроль якості зачеплення зубчастих передач (пляма контакту, боковий зазор, шум);
- Складання та притирання рухомих конусних з'єднань;
- Призначення та складання різних типів насосів (поршневі, шестеренні, гвинтові);
- Контроль та ущільнення гідроциліндрів та плунжерних вузлів;
- Складання поршневої групи: поршні, поршневі кільця, поршневі пальці;
- Технологія складання ланцюгових передач та забезпечення їхньої точності;
- Складання кулісного механізму: конструкція, монтаж, регулювання ходу повзуна;
- Складання храпового механізму: конструкція, монтаж, регулювання подачі.

Ключові слова: зубчасті передачі, конічні передачі, черв'ячні передачі, пляма контакту, боковий зазор, притирання, рухомі конусні з'єднання, насоси, поршковий насос, шестеренний насос, гідроциліндр, ущільнення, поршнева група, поршневі кільця, ланцюгові передачі, співвісність, регулювання, контроль, складання.

11.1 Зубчасті і черв'ячні передачі та їх складання

Для забезпечення правильної експлуатації зубчастих коліс під час складання необхідно дотримуватися ряду ключових вимог. Зокрема, контактна

точка зубів повинна збігатися з початковим колом, а процес взаємодії зубів повинен проходити без ривків та різких поштовхів [8]. Ці умови забезпечуються не лише високою якістю виготовлення деталей у машинобудівному цеху, але й коректно спроектованим технологічним процесом складання.

Основні етапи монтажу зубчастих передач включають:

- закріплення зубчастого колеса на валу;
- установку валів із зубчастими колесами у корпус;
- регулювання та контроль зачеплення зубів.

Циліндричні зубчасті передачі становлять близько 75–80 % усіх передач. Посадку таких коліс на центрувальні поверхні валів зазвичай виконують за допомогою преса та спеціальних монтажних інструментів, що дозволяють уникнути перекосів. Демонтаж зубчастих коліс також здійснюють під пресом або із застосуванням знімачів. Перед запресовуванням необхідно перевірити стан робочих поверхонь і наявність фаски відповідного розміру.

При монтажі зубчастих коліс найчастіше зустрічаються такі похибки: люфт на шийці валу, радіальне та торцеве биття, а також недостатньо щільне прилягання до буртика валу. Контроль виконують на спеціальних приладах з використанням індикаторів і еталонних шестерень. Допустимі значення радіального биття становлять 0,025–0,075 мм, а торцевого – 0,10–0,15 мм. Якість зачеплення забезпечується точним дотриманням допусків на всі елементи згідно з нормативними документами.

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва під час складання перевіряють бокові й радіальні зазори, а також правильність контакту зубів за плямою зачеплення, яка має розташовуватися в середній частині бічної поверхні зуба. Неправильне положення плями вказує на перекоси або невідповідність міжцентрової відстані [8].

Швидкохідні зубчасті передачі додатково випробовують під навантаженням із вимірюванням крутного моменту та рівня шуму. Підвищена шумність сигналізує про дефекти виготовлення або складання. Нормативи шумності стандартизовані для всіх типів передач [8].

Конічні зубчасті колеса характеризуються зубами змінної товщини, що ускладнює як їх виготовлення, так і процес складання. Для коректної роботи конічної передачі необхідно забезпечити правильний профіль зуба та точність товщини, сумісність осей отворів або шийок із центром початкового кола, а також правильне розташування осей корпусу у площині перетину під заданим кутом. Опорні елементи, такі як підшипники та стакани, повинні бути встановлені без зміщень і перекосів.

Особливу увагу приділяють збігу вершин ділильного конуса обох зубчастих коліс. Контроль проводять за допомогою еталонного колеса та спеціальних приладів. Оптимальна пляма контакту повинна розташовуватися ближче до тонкого кінця зуба, що забезпечує поступове збільшення контакту під час роботи та рівномірне припрацювання зуба. Допустимі відстані від краю зуба становлять 1,5–3,0 мм по довжині і 0,4–1,0 мм по висоті [8].

Складання конічної передачі передбачає регулювання зачеплення шляхом переміщення зубчастих коліс до збігу уявних вершин конусів. Це дозволяє досягти рівномірного зазору по всьому колу зубів. Після регулювання положення коліс фіксують регулювальними кільцями або гайками. У серійному виробництві регулювання виконують на спеціалізованих стендах [8].

Залежно від конструкції циліндричні передачі поділяють на:

- прямозубі, які прості за конструкцією, не створюють осьових навантажень і призначені для механізмів із невеликою швидкістю обертання;
- косозубі, із зубами по гвинтових лініях, що забезпечує плавний хід, зниження шуму та підвищену навантажувальну здатність, але потребує осьової фіксації валу;
- шевронні, у яких чергуються ліві та праві зуби, що компенсує осьові зусилля та дозволяє передавати великі потужності;
- внутрішнього зачеплення, де зубчасті колеса розташовані одне всередині одного, обертаючись в одному напрямку [8].

Перед монтажем коліс перевіряють концентричність зубчастих вінців щодо посадкового діаметра. Для цього колесо встановлюють на оправлення, між зубами розміщують калібр і вимірюють відхилення індикатором по всьому колу. Лише колеса з відхиленням у межах допустимих норм допускаються до складання.

Технологічний процес складання циліндричних передач включає: підготовку та перевірку деталей, монтаж зубчастих вінців на маточину, фіксацію коліс на валах, установку валів у підшипники корпусу та регулювання зачеплення зубів фарбовим контролем. Контроль плями фарби дозволяє виявити перекося та невідповідність міжцентрової відстані [8].

Конічні передачі монтують аналогічно, однак при цьому необхідно забезпечити точне збігання початкових конусів обох коліс, щоб забезпечити рівномірний контакт зубів та довготривалу експлуатацію підшипникового вузла (рис. 11.1) [8].

Перед монтажем валів із конічними колесами обов'язковою є перевірка правильності взаємного розташування осей посадкових поверхонь. Для цього на посадкові місця встановлюють дві оправки, центровані в отворах; якщо щуп проходить між ними без зусиль, розташування осей вважається коректним.

Нормальна робота конічної передачі можлива лише за наявності оптимального бокового зазору між зубами зчленованих коліс. Його величина залежить від типу механізму і коливається в межах 0,08–0,20 мм. Для вимірювання зазору використовують щуп, якщо до коліс є вільний доступ, або більш поширений метод із свинцевими пластинками: пластину пропускають між зубами, провертають колеса і повторюють процедуру в декількох точках по колу з новою пластинкою. Товщину деформованих пластинок визначають мікрометром, а середньоарифметичне значення служить показником бокового зазору [8].

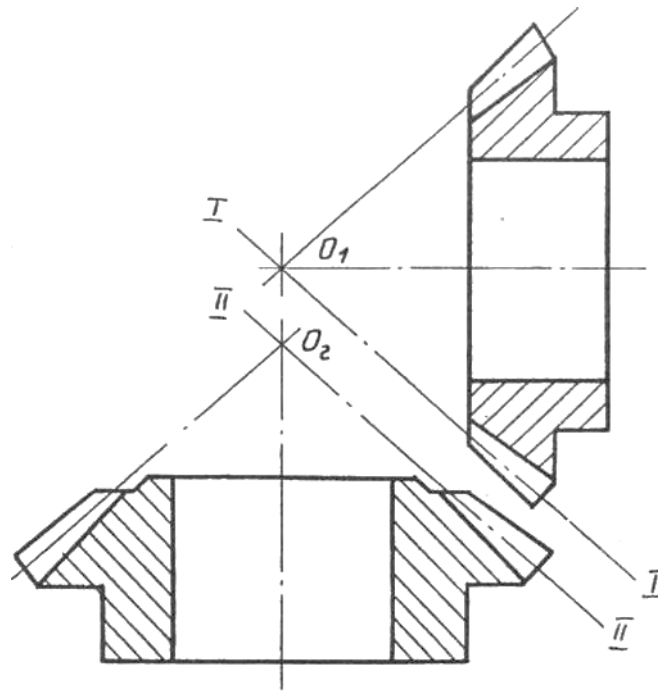


Рис. 11.1. Конічна зубчаста передача [8]

Якщо фактичний зазор відрізняється від нормативного, його коригують шляхом переміщення одного з коліс: у напрямку до передбачуваної вершини конуса зазор зменшують, від неї – збільшують. Нове положення фіксують прокладками під опорними поверхнями коліс.

Після складання конічної передачі проводять контроль: перевіряють якість зачеплення за допомогою фарбового методу, оцінюють рівень шуму (підвищений шум вказує на необхідність прироблення передачі в повільному режимі) і перевіряють тертя. Якщо мастило не перегрівається, тертя в сполученнях вважають нормальним [8].

Черв'ячні передачі використовуються для механізмів із перехресними осями валів, зазвичай під кутом 90° . Вони складаються з черв'яка та черв'ячного колеса. Черв'як може бути циліндричним (в зачепленні одночасно 1–2 зуба колеса) або глобоїдним (в зачепленні одночасно 5–6 зубів), що дозволяє значно підвищити передану потужність і ККД порівняно з циліндричними черв'ячними передачами.

Складання черв'ячної передачі починають із монтажу підшипників ковзання в корпусі, а потім встановлюють вали з черв'яком і колесом. Спершу збирають вузол черв'ячного колеса: вінець встановлюють на маточину,

нарізають різь у отворах під стопори, вкручують стопори та кернуть їх. Після цього перевіряють биття вінця. Аналогічним чином збирають інші колеса з фіксацією вінця болтами.

Монтаж черв'ячних зубчастих коліс на вали і перевірку проводять аналогічно циліндричним колесам. Правильність зачеплення визначають за дотриманням кута перетину осей черв'яка та колеса, міжцентрової відстані, бокового зазору та співпадіння середньої площини колеса з віссю черв'яка. Для цього застосовують спеціальні інструменти та виконують перевірку на фарбу: при коректному зачепленні фарба повинна покривати 60–70 % поверхні зуба колеса по довжині і висоті.

Зібрані зубчасті та черв'ячні передачі піддають обкатці під навантаженням для прироблення тертьових поверхонь, контролю точності складання та перевірки роботи в умовах, наближених до експлуатаційних (Рис. 11.2) [8].

Регулювання зачеплення черв'ячної передачі здійснюється шляхом підбору прокладок необхідної товщини під фланець черв'ячного колеса. Для зручності ці прокладки виконують у формі півкілець, що дозволяє проводити коригування без повного розбирання вузла: достатньо лише послабити регулювальні гвинти. У багатьох конструкціях подібних передач підшипникові стакани, призначені для установки черв'яків, обладнані різьбленням, що дає змогу коригувати положення зачеплення шляхом обертання гайок і одночасного переміщення зубчастих коліс вздовж осі [8].

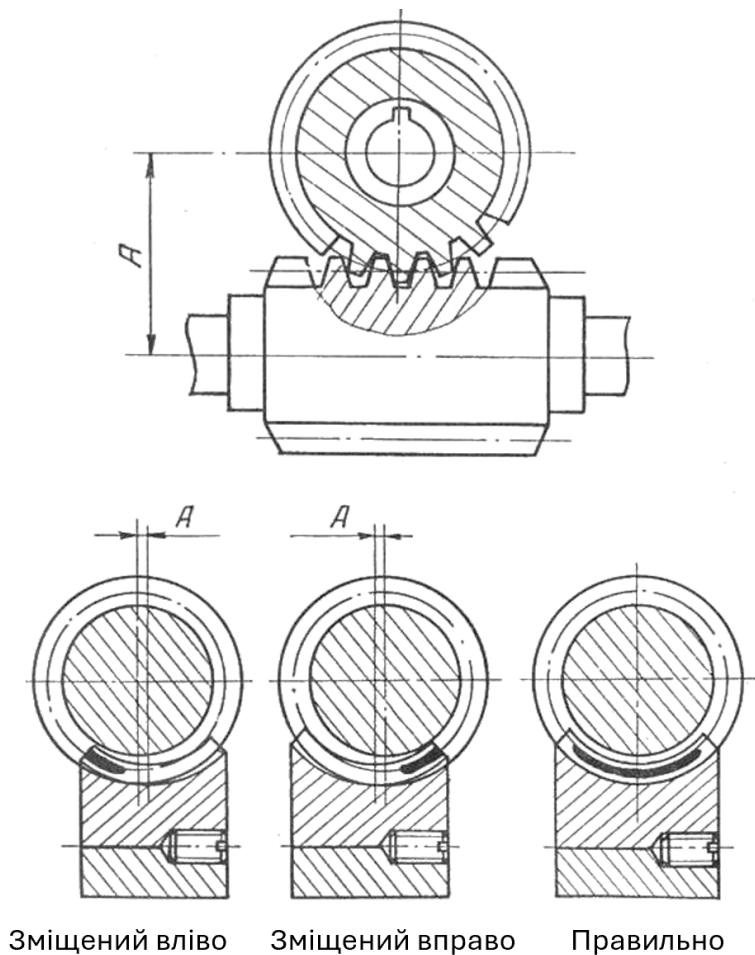


Рис. 11.2 Контроль правильності зачеплення черв'ячної передачі

11.2 Рухомі конусні з'єднання

Рухомі конусні сполучення знаходять застосування у запірних механізмах, таких як пробкові крани та клапани, а також у регульованих підшипниках ковзання і кочення. Для забезпечення герметичності таких з'єднань під час складання часто необхідно виконувати припасування деталей. Наприклад, щільне прилягання клапана до фаски гнізда або його кришки може досягатися шляхом притирання. У серійному виробництві клапанів аналогічний ефект забезпечують точним шліфуванням фаски клапана та чистовою обробкою гнізд [8].

Притирання конусних поверхонь зазвичай виконують без застосування спеціальних притирів, надаючи одній із деталей зворотно-поступальний рух з періодичним підніманням. Для підвищення рівномірності обробки поверхню оброблюваної деталі покривають притиральним порошком та рідиною.

Контроль якості притирання включає зовнішній огляд з'єднаних поверхонь, перевірку на герметичність за допомогою заливки гасом, а також використання спеціальних приладів для вимірювання компресії. Після завершення операції складальні одиниці ретельно промивають та обдувають повітрям. Залишки абразиву на притираних поверхнях неприпустимі, оскільки вони спричиняють появу подряпин, рисок і задирів, що знижує щільність з'єднання [8].

Ефективність і продуктивність притирання залежать від питомого тиску, який створюється на поверхні. Звичайні значення тиску становлять 0,08–0,15 МПа; при нижчих тисках продуктивність зменшується, а шорсткість поверхні зростає. Збільшення тиску до 0,15–0,2 МПа підвищує знімання шару металу без погіршення якості поверхні, тоді як подальше збільшення тиску може призвести до утворення подряпин і задирів [8].

Притирання застосовують для досягнення високої точності розмірів деталей, що досягає 0,1 мкм, або для забезпечення щільності прилягання поверхонь, необхідної для гідравлічної непроникності. Допустимі припуски на притирання складають 0,03–0,05 мм.

Ручне притирання є трудомістким і малопродуктивним, тому його замінюють на механізовані методи за можливості. Для цього використовують електричні або пневматичні ручні машини з обертальним рухом робочого органу, а також спеціалізовані верстати. При обробці конічних або циліндричних пар забезпечується складний рух деталі, що дозволяє уникнути накладання слідів обробки. Притирання виконується обертально з підніманням та опусканням, причому деталі (вал або отвір) повинні мати конструктивну можливість самовстановлення [8].

11.3 Призначення та складання насосів

У гідравлічних приводах промислового обладнання широко застосовуються різноманітні поршневі насоси, що відрізняються продуктивністю, робочим тиском, кількістю та конфігурацією поршнів [8].

При виготовленні та складанні таких насосів особливу увагу приділяють притиранню взаємодіючих елементів. Зокрема, поршні повинні бути ретельно прітерті у відповідних циліндрах, причому циліндри виготовляють з допуском Н6, а поршні (плунжери) – з допуском Н5. Поршні мають щільно входити в циліндр, без люфту, але так, щоб могли переміщатися під власною вагою. Допустимі овальність і конусність поршнів не перевищують 0,005 мм, а циліндрів – 0,01 мм. Під час складання кожен поршень встановлюють у свій циліндр, часто маркуючи їх відповідними таврами. Тарілки та пояски всмоктуючих і нагнітальних клапанів також повинні бути ретельно прітерті до посадкових місць [8].

Різке зниження продуктивності насоса, уповільнення роботи робочих органів, поява стуків або шуму зазвичай свідчить про неповне притирання конусів нагнітальних або всмоктуючих клапанів. Частою причиною неповноцінної роботи є також недостатнє затягування пробки. Протягом перших днів експлуатації рекомендується підтягання пробки, оскільки під дією тиску ущільнювальні кільця деформуються, порушується герметичність і знижується ефективність насоса [8].

Шестеренні насоси поділяють на низького, середнього та високого тиску. Насоси низького тиску зазвичай використовують у системах змащення та охолодження верстатів; середнього тиску – у гідравлічних системах шліфувальних, фрезерних та інших верстатів; високого тиску – у системах свердлильно-розточувальних, протяжних, токарних та фрезерних верстатів.

Основні вимоги до складання шестеренних насосів полягають у забезпеченні герметичності корпусу, точного дотримання міжосьової відстані осей зубчастих коліс та оптимального зачеплення зубів. Особлива увага приділяється зазору між зубчастими колесами і вкладишами, який повинен становити 0,04–0,08 мм. Дотримання цього зазору є критичним для правильної роботи насоса [8].

У випадку невідповідності зазору технічним нормам, торці зубчастих коліс або корпусу підлягають шліфуванню для корекції розмірів. Після

складання насоса встановлюють кріпильні гвинти та контрольні штифти і перевіряють обертання ведучого вала вручну. Легке і плавне обертання свідчить про відсутність перекосів; у разі затримки або заклинювання слід послабити кріплення кришок, усунути перекоп і повторно зафіксувати деталі [8].

Гвинтові насоси завдяки компактності, низькому шуму, відсутності збовтування рідини та здатності перекачувати рідини з різною в'язкістю набули широкого застосування у промисловості. Вони дозволяють працювати на високих швидкостях обертання і забезпечують пряме з'єднання з високошвидкісними двигунами. Важливою особливістю є сталість пропорцій між розмірами основних елементів незалежно від загальних габаритів насоса [8].

Силові гідроциліндри призначені для перетворення енергії рідини у механічну роботу зворотно-поступального або зворотно-поворотного руху поршня або лопаті з валом. Вони бувають поршневі та плунжерні, з одним або двома штоками. Поршневі гідроциліндри можуть мати нерухомий циліндр з рухомим поршнем або нерухомий поршень з рухомим циліндром [8].

Перевірка гідроциліндрів здійснюється нагнітанням підігрітого масла (до 323 К) під заданим тиском у одну з порожнин циліндра. Допустимий витік у другу порожнину через ущільнення поршня не перевищує встановлених норм. Аналогічно контролюється сальникове ущільнення [8].

Ущільнення плунжерних вузлів запобігають витоку рідини або газів через зазори між нерухомими та рухомими деталями. Вони поділяються на дві групи:

1. Ущільнення, що забезпечують гідравлічний опір за рахунок притискання плунжера до циліндра без використання додаткових елементів; плунжери мають прітертися до повного прилягання, а зазори та овальність циліндрів відповідати технічним умовам.
2. Ущільнення, що застосовують додаткові елементи (манжети, кільця, набивки), які безперервно притискаються до ущільнювальної поверхні [8].

До простих типів ущільнень штоків відносять сальники з м'яким набиванням (рис. 11.3а). Набивки виконують з еластичних матеріалів, азбестових, лляних або бавовняних ниток, пробки, маслостійкої гуми або азбест-графіту. Вони укладаються кільцями зі зміщеними стиками та фіксуються підтягуванням. Надмірне затягування призводить до підвищеного тертя та зносу [8].

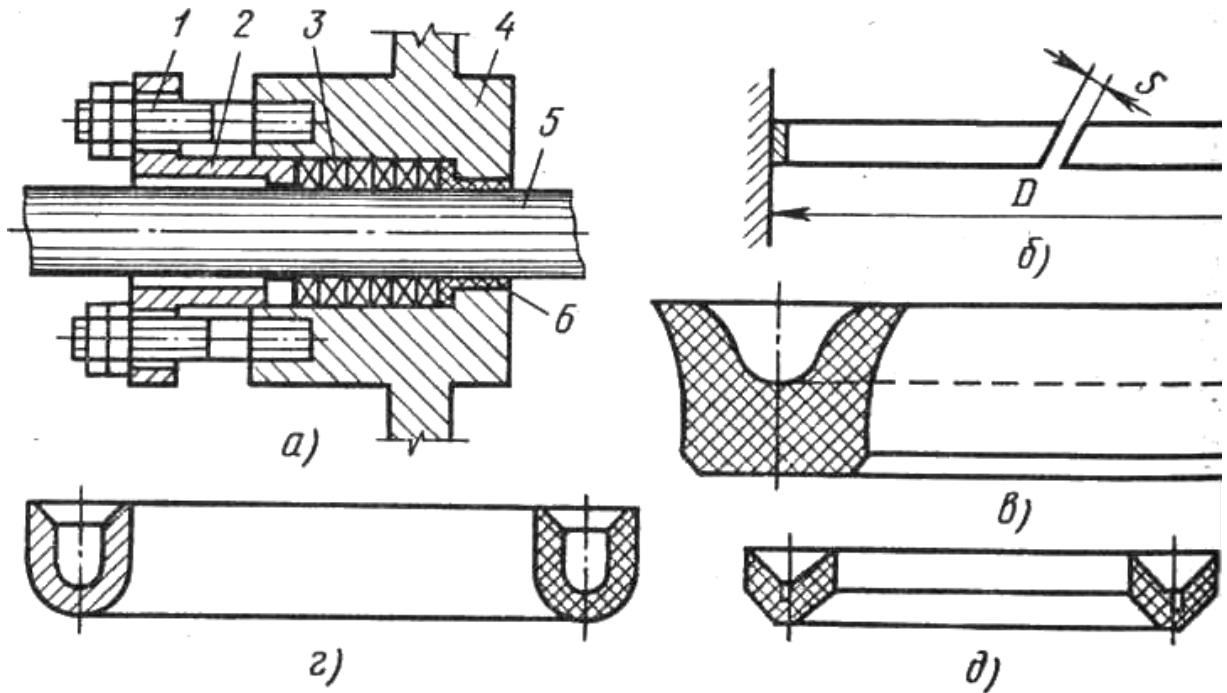


Рис. 11.3 Ущільнення з'єднань в насосах, гідроциліндрах і гідродвигуни: а–сальники з м'яким набиванням, б–поршневим кільцем, в–комірцевої манжетною, г–манжетною U-подібного перетину, д–манжетною шевронною; 1–шпилька, 2–натискні стакан, 3–набивка, 4–сальникова коробка, 5–поршневий шток, б–грунд-букса

Поршневі кільця, встановлені у циліндр, повинні забезпечувати щільне прилягання до його дзеркальної поверхні без зазорів. При цьому величина зазору S у стику не повинна перевищувати значень, визначених заводськими технічними інструкціями та кресленнями для відповідного діаметра D (рис. 11.4).

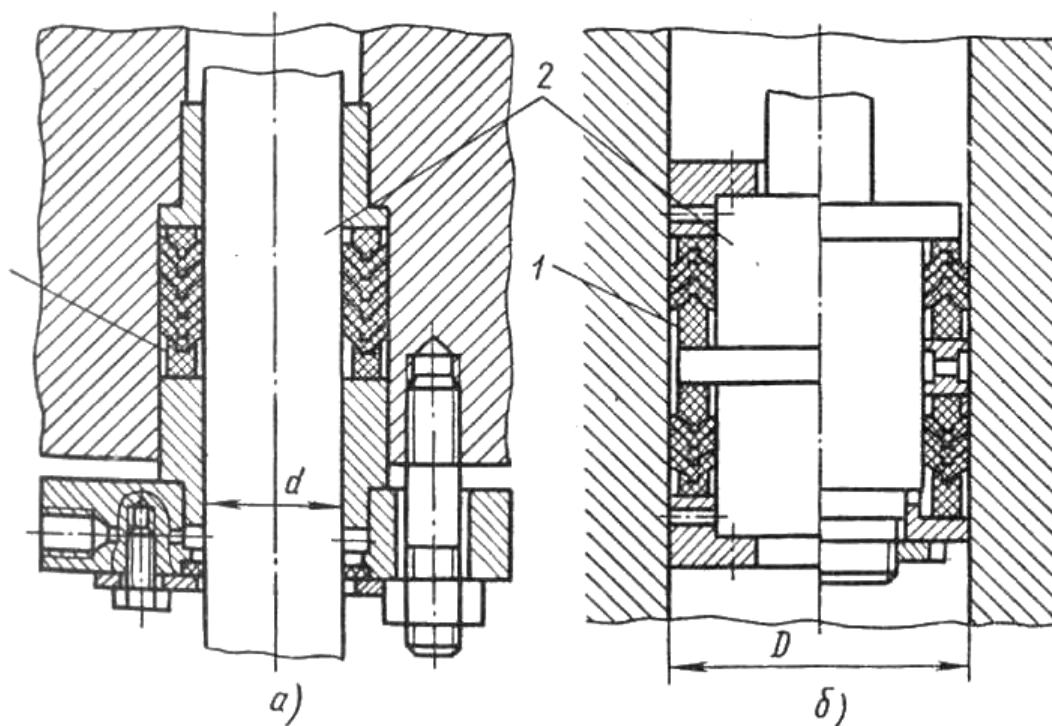


Рис. 11.4. Пристрій ущільнювальних складальних одиниць

11.4 Складання поршневої групи

Поршнева група, що застосовується в двигунах внутрішнього згорання, парових машинах, компресорах, а також у пневматичних та гідравлічних пристроях, призначена для передачі механічної дії від тиску газів або пари, що діє на поршень, до колінчастого валу. До складу цієї групи входять основні елементи: поршні, поршневі кільця та поршневі пальці.

Поршні виготовляють із чавуну або легких сплавів, наприклад алюмінієвих. Їх бічна поверхня обладнана канавками для монтажу поршневих кілець. Кількість канавок зазвичай коливається від трьох до семи та більше, причому верхні канавки призначені для ущільнювальних кілець, а нижні — для кілець, що утримують масло.

Поршневі кільця виконують із щільного дрібнозернистого чавуну або спеціальних марок матеріалу. Завдяки пружним властивостям кільця щільно контактують зі стінками циліндра, що забезпечує ізоляцію газів у камері згорання та запобігає потраплянню мастила з картера. За конструкцією поршневі кільця поділяються на ущільнювальні та маслоуловлювальні, а замки

кілець виготовляють ступінчастими або косими для забезпечення рівномірного розподілу навантаження.

Складання поршневої одиниці починають із підбору поршня за розміром циліндра та масою (рис. 11.5). Далі виконують монтаж шатуна в поршень із точним суміщенням отвору під поршневий палець із верхньою головкою шатуна. Після цього поршневий палець, злегка змащений маслом, вводять у поршневий отвір з невеликим натиском. Для досягнення необхідного натягу пальця іноді підігрівають поршень у гарячому маслі до 333–343 К (60–70 °С). Завершальним етапом монтажу є встановлення розпірних кілець, які обмежують осьові переміщення поршневого пальця під час роботи двигуна [8].

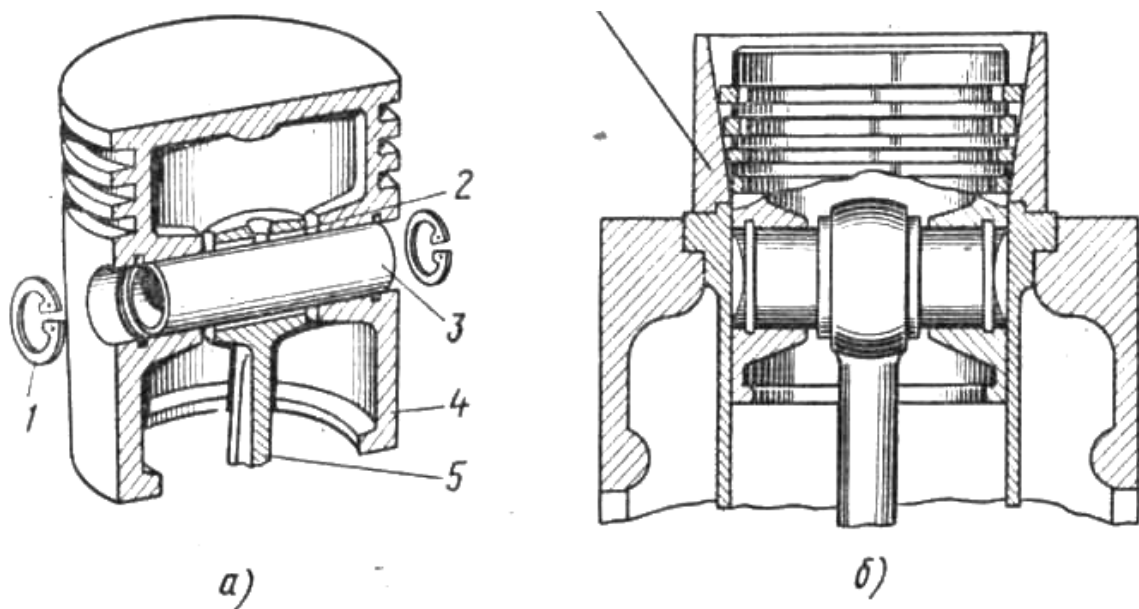


Рис. 11.5. Поршнева головка: а–складання, б–пристрій для побудови та встановлення поршневих кілець в циліндр

При складанні також забезпечують правильні зазори між поршнем і циліндром і між поршневими кільцями і канавками в поршнях.

Під час складання поршневої групи особливу увагу приділяють забезпеченню правильних зазорів: як між поршнем і циліндром, так і між поршневими кільцями та їх канавками в поршні.

Процес встановлення поршневих кілець є критично важливим і вимагає суворого контролю за розміром зазору в стику. Якщо цей зазор надмірно великий, виникає можливість проходження газів через щілину замка, що

призводить до втрати компресії. Надто малий зазор може спричинити контакт кінців кільця при нагріванні, що зменшує пружність кільця та може викликати пошкодження поверхні циліндра. Рекомендовані межі зазору в стику зазвичай становлять 0,3–0,8 мм.

У вільному стані поршневі кільця мають зовнішній діаметр, який перевищує діаметр поршня. Для введення поршня в циліндр необхідне стискання кільця. Це здійснюють за допомогою спеціального конусного пристрою: внутрішня поверхня конусу звужується до розміру, що відповідає діаметру циліндра. При опусканні поршня через цей конус кільця стискаються рівномірно, що забезпечує їх безпечне входження в циліндр і виключає пошкодження робочих поверхонь.

11.5 Складання ланцюгових передач

Для передавання обертального моменту між валами, розташованими на певній відстані один від одного, застосовують ланцюгові передачі як альтернативу пасовим. У відкритих гнучких ланцюгових системах ролі шківів виконують зубчасті колеса, які отримали назву «зірочки», а гнучка стрічка замінюється металевим ланцюгом. Взаємодія відбувається через зачеплення зубів зірочки з ланками ланцюга. На відміну від ременя, ланцюг не піддається прослизанню, що дозволяє її ефективно використовувати як при невеликих відстанях між валами, так і у передачах із високим передавальним числом.

Ланцюгові механізми здатні функціонувати на значних швидкостях — до 30 м/с, з передавальним числом, що може досягати 15. В окремих випадках коефіцієнт корисної дії таких передач сягає 0,98 [8].

Структурно ланцюгова передача складається з провідної та веденої зірочки, встановлених на валу, та ланцюга, який охоплює обидві зірочки. Найбільше поширення отримали однорядні та багаторядні ланцюги, а також роликіві та пластинчасті конструкції.

Особливе значення має правильне розташування осей валів, на яких змонтовані зірочки, оскільки від цього залежить точність зачеплення

ланцюга із зубами зірочки. Контроль виконують за допомогою контрольного шнура, а для міжосьової відстані до 1000 мм — металевої лінійки, прикладеної ребром до торців зірочки (рис. 11.6). Після цього перевіряють зазор між торцем зірочки та лінійкою щупом у різних положеннях зірочки. Допустиме зміщення зірочок не повинно перевищувати 1–2 мм на кожні 1000 мм довжини.

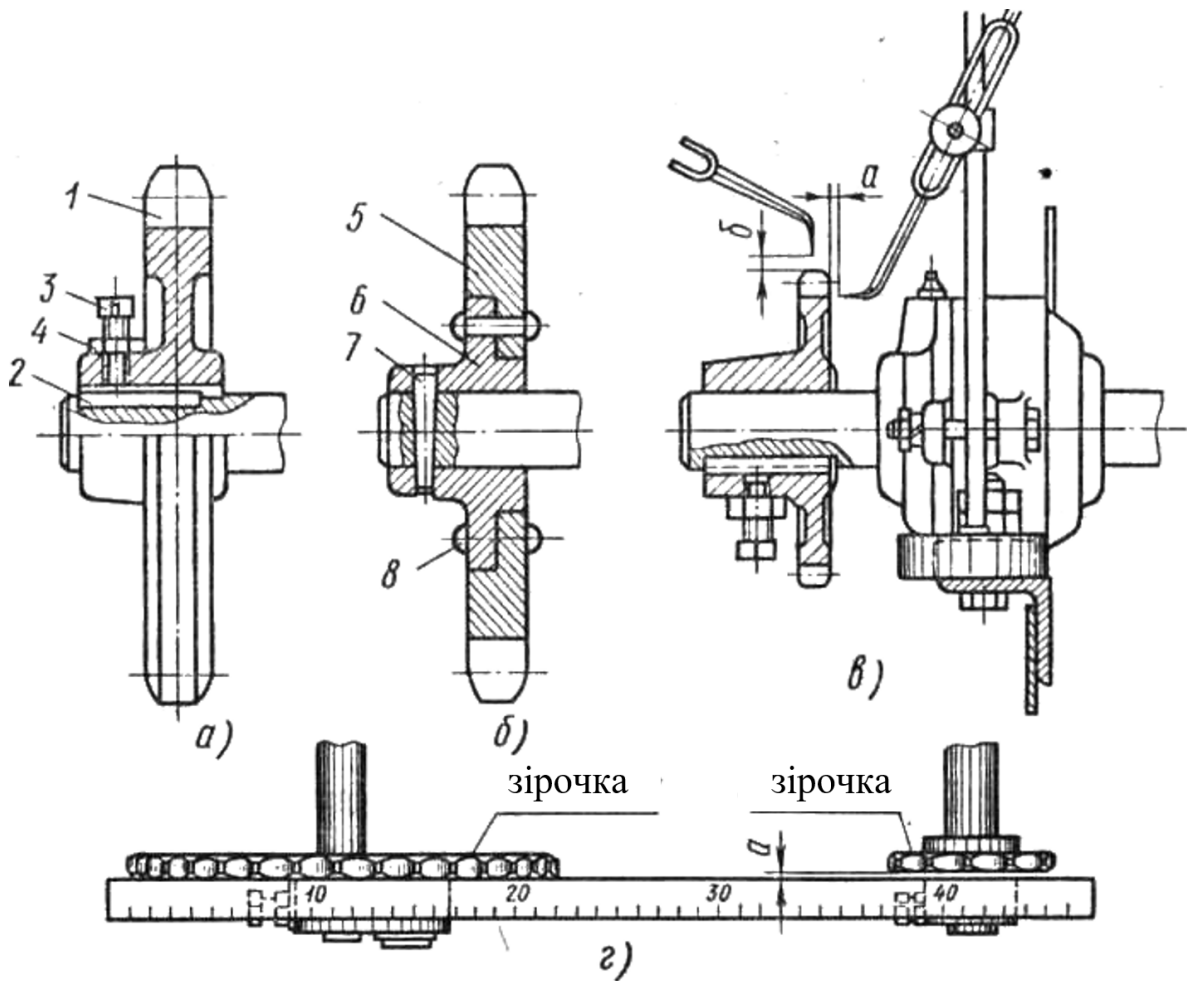


Рис. 11.6. Схеми кріплення зірочок на валах і схеми перевірки на радіальне і торцеве биття: кріплення: а—на шпонці і стопором, б—конічним штифтом; перевірки: в—на радіальне і торцеве биття рейсмас, г—на співвісний биття лінійкою [8]

Монтаж втулочно-роликового ланцюга проводиться із застосуванням спеціальних з'єднувальних ланок, що складаються з двох валиків, скріплених пластинами, одна з яких знімна для зручності обслуговування (рис. 11.7а). Такі ланки дозволяють об'єднувати ланцюги, що мають парну кількість ланок. У випадку потреби збирання ланцюга з непарною кількістю кроків використовується додаткова перехідна ланка (рис. 11.7б).

Після встановлення необхідних ланок здійснюється остаточне з'єднання ланцюга за допомогою гачкових або пружинних стяжок (рис. 11.7в, 11.7г). При застосуванні гачкової стяжки баранчик гвинта відкручується до кінця, лапки розсовуються та вводяться у відповідні ланки ланцюга, забезпечуючи міцне та надійне з'єднання.

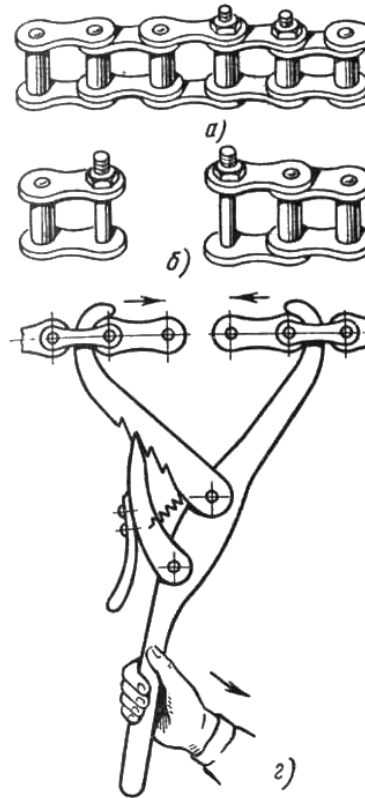


Рис. 11.7. Сполучні ланки і пристрій для складання ланцюгів: а—сполучна ланка; б—перехідна ланка, в—складання ланцюга за допомогою гачкових стяжок, г—за допомогою гачкових пружинних стяжок, д—за допомогою гвинтової стяжки;

Під час монтажу ланцюгових передач слід уникати надмірного натягу ланцюга. Ланцюг, що має незначне провисання, рівномірно охоплює зуби зірочок, що сприяє зменшенню ударних навантажень між ланками та зубцями, знижує знос деталей передачі та забезпечує плавну і тиху роботу механізму. Крім того, оптимальний натяг зменшує напруження на вузли та деталі механізму.

Тривалість експлуатації ланцюгових передач значною мірою залежить від ефективності їхнього змащування. Вибір способу подачі мастила визначається швидкістю роботи передачі: при швидкості до 2 м/с застосовується періодичне змащування, для швидкостей від 2,5 до 5 м/с — крапельне, при 5–7 м/с — зануренням у мастильну ванну, а для швидкостей, що перевищують 7 м/с, використовують примусове змащування за допомогою насоса [8].

11.6 Складання кулісного механізму

Кулісний механізм є однією з модифікацій кривошипно–шатунного пристрою та широко використовується у поперечно–стругальних і довбальних верстатах [8].

На схемі (рис. 11.8) представлено кулісний механізм, де головним елементом є куліса, встановлена на осі і здатна здійснювати коливальні рухи навколо неї. На задній частині куліси змонтований кривошипний диск, що має радіальний паз, у якому вільно переміщається палець кривошипа. Переміщення цього пальця забезпечується гвинтовим механізмом, який приводиться в дію через валик і конічні зубчасті колеса. Хвостовик диска розташований у стінці станини, а обертання диска здійснюється за допомогою зубчастого колеса від приводу верстата.

У кулісному механізмі на спеціальний палець встановлюється сухар (камінь), який рухається всередині подовжнього пазу куліси. При обертанні кривошипного диска сухар змушує кулісу здійснювати коливальні рухи навколо своєї осі, водночас сам переміщується вздовж пазу. Верхній палець куліси сполучається з повзуном верстата, забезпечуючи його поступальний рух по горизонтальних напрямних.

Головною перевагою цього типу механізму є висока швидкість зворотного ходу повзуна. Водночас кулісні механізми здатні передавати значно менші зусилля порівняно з кривошипно–шатунними.

Для виготовлення деталей кулісного механізму застосовують різні матеріали: кулісу, кривошипний диск і сухар виготовляють із чавунного лиття,

а пальці, валики, осі та зубчасті колеса — зі сталі. Кривошипний диск одночасно виконує функції маховика, забезпечуючи стабільність обертання.

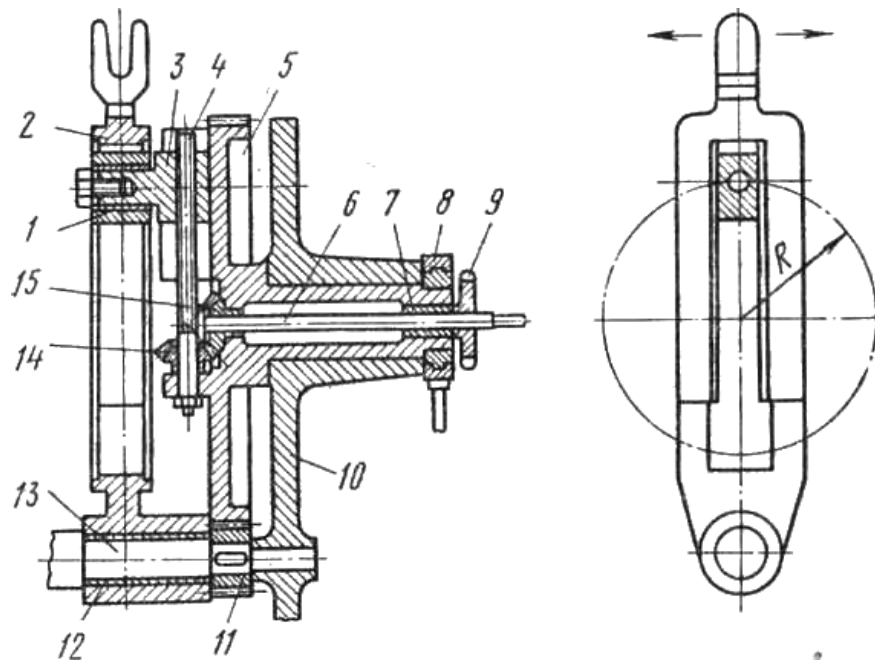


Рис. 11.8. Механізм хитального пристрою поперечно-стругального верстата [8]

Складання механізму починається з установки кривошипного диска на вкладиш, через який пропускають валик. На кінець валика встановлюють кінцеве зубчасте колесо, закріплюючи його шпонкою. Гвинт вводять у паз пальця кривошипа, а на іншому його кінці фіксують шпонкою. Зубчасті колеса зчіплюють між собою і регулюють за допомогою розпірних кілець або шайб, після чого перевіряють контакти зубів фарбою [8].

Далі палець вставляють у паз кривошипного диска та фіксують гвинтом. Зібрану складальну одиницю хвостовика диска встановлюють у відповідний отвір станини, після чого на вісь через шпонку монтують зубчасте колесо. У подовжній паз куліси вводять камінь, який з'єднують із кривошипним диском; при цьому вісь повинна зайняти правильне положення у станині, а головка лаштунки — у пазі повзуна. Потім палець сухаря закріплюють гвинтом, а на хвостовик кривошипного диска встановлюють ексцентрик механізму подачі і стопорну гайку [8].

Регулювання ходу повзуна здійснюється зміною ексцентриситету кривошипного пальця: обертанням валика рукояткою, встановленою на квадратний кінець, гвинт переміщує палець уздовж кривошипного диска, змінюючи довжину ходу. Максимальна амплітуда досягається при найбільшому ексцентриситеті.

При правильному монтажі напрямні куліси розташовуються перпендикулярно осі, яка повинна залишатися горизонтальною, а напрямні куліси — у вертикальній площині. Перпендикулярність напрямних перевіряють рамним рівнем, а точність торця кривошипного диска щодо осі — індикатором..

11.7 Складання храпового механізму

Для реалізації періодичного переміщення виробу або інструмента на поздовжньо- та поперечно-стругальних верстатах використовують храповий механізм. На рисунку 11.9а представлено конструкцію храпового механізму, що забезпечує автоматичну подачу столу поперечно-стругального верстата. Кривошипний диск встановлюють на провідному валу, який синхронізується з обертанням диска, що приводить у дію кулісу. Така синхронізація необхідна для того, щоб подача столу відбувалася один раз за подвійний хід повзуна, тобто під час його зворотного руху.

Диск оснащено радіальним Т-подібним пазом, у якому гайкою фіксують палець кривошипа. Палець можна переміщувати вздовж паза, змінюючи ефективний радіус кривошипа. Шатун шарнірно з'єднується одним кінцем із пальцем, а іншим — із важелем, що вільно обертається на валу. На цьому валу через шпонку закріплено храпове колесо. Важіль оснащено собачкою, притиснутою до храповика пружиною, причому її кінцева частина входить у западину зубів храповика [8].

Радіус важеля перевищує найбільший радіус кривошипного диска, тому під час одного повороту кривошипа собачка здійснює два коливальні рухи — у прямому та зворотному напрямку. Кінець собачки з одного боку контактує з радіусом храповика, а з іншого — має скошену поверхню. При

прямому ході собачка повертає храповик на певний кут, тоді як у зворотному — ковзає по зубах храповика. Разом із храповиком обертається вал, який безпосередньо або через передавальний механізм пов'язаний із ходовим гвинтом столу. Таким чином, кожен оберт кривошипа забезпечує періодичне переміщення столу у заданому напрямку, при цьому прямий хід собачки збігається із зворотним ходом повзуна, і навпаки [8].

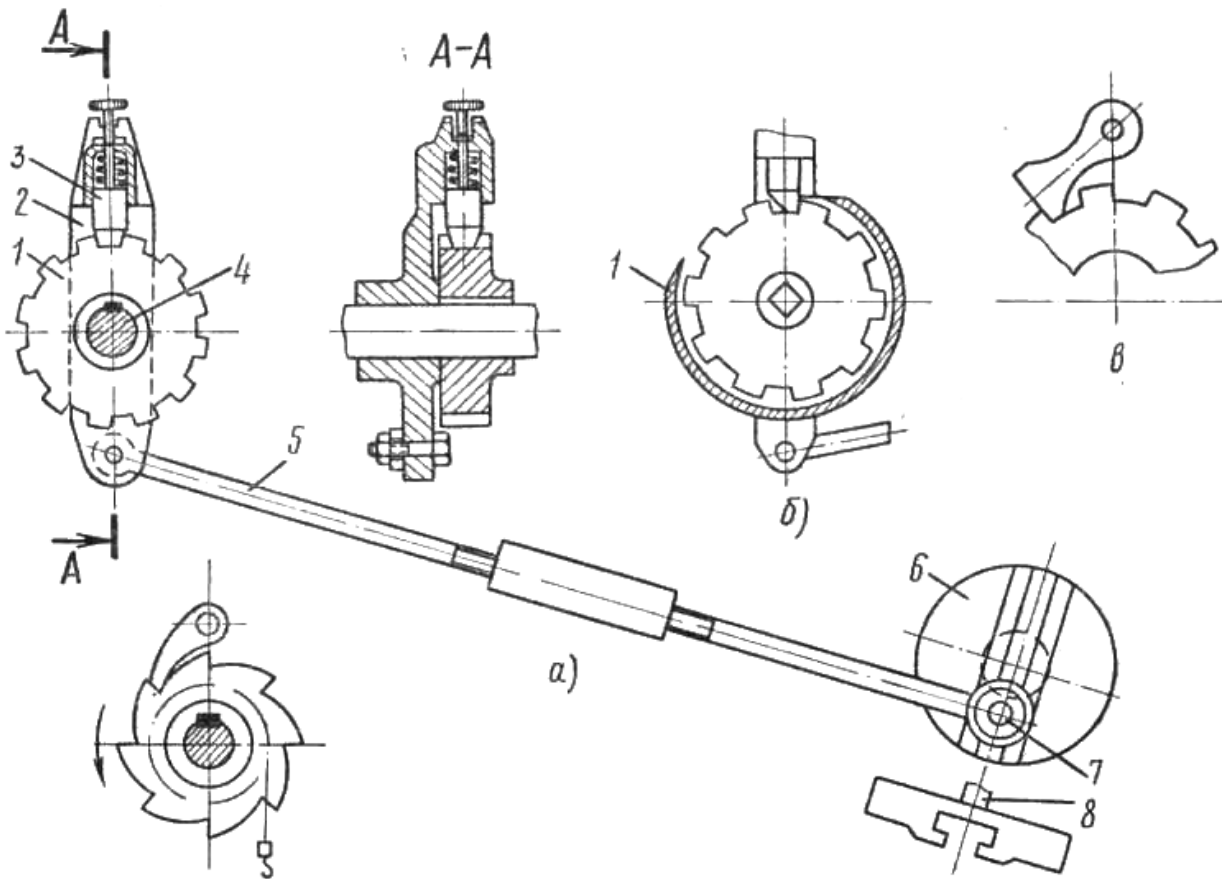


Рис. 11.9. Храпові механізми: а—зі змінним радіусом кривошипа, б—зі щитком, в—з перекидний собачкою, г—зі скошеним зубом

У разі, якщо головку собачки відтягнути та повернути на 180° , напрямок подачі змінюється на протилежний. При повороті на 90° собачка залишається у відтягнутому стані, утримуючись стопорним штифтом, і храповик не обертається, здійснюючи так званий холостий хід. У розглянутій конструкції регулювання величини подачі здійснюють шляхом зміни радіуса кривошипного диска. Змінюючи радіус кривошипа, змінюється кут коливання собачки, що визначає кількість зубів храповика, які вона зачіпає, а отже, і кут повороту

ходового гвинта. Окрім пружинних собачок, часто застосовуються перекидні собачки (рис. 11.9в).

У деяких моделях поперечно-стругальних верстатів для регулювання подачі використовують механізм з фіксованим радіусом кривошипа, що забезпечує постійний кут коливання собачки (рис. 11.9б). У цьому випадку храповик обладнано поворотним щитком, який закриває частину зубів, змушуючи собачку частково ковзати і захоплювати різну кількість зубів, що дозволяє регулювати величину подачі.

Якщо необхідна подача лише в одному напрямку, зуби храповика виготовляють скошеними, а собачку — односторонньою (рис. 11.9г). Такі конструкції застосовуються в механізмах зупинки лебідок, кранів та інших вантажопідйомних машин, де при обертанні у напрямку підйому собачка ковзає по зубах, а при зупинці впирається в зуб храповика, запобігаючи самовільному опусканню вантажу [8].

Процес складання храпового механізму включає наступні операції. Спочатку встановлюють вали у відповідні підшипники. Потім важіль з'єднують із собачкою, попередньо вставивши пружину у гніздо. У отвір собачки встановлюють стопорний штифт і на стрижень нагвинчують головку. Зібраний важіль надягають на вал, після чого на нього насаджують храповик на шпонці. Другий кінець важеля шарнірно з'єднують болтом із лівою половиною шатуна, на кінець якого встановлюють сполучну муфту. Далі на вал нерухомо насаджують кривошипний диск, а кінець шатуна шарнірно з'єднують із пальцем, головку якого вводять у Т-подібний паз диска та фіксують гайкою.

Регулювання пружини здійснюють так, щоб собачка не прослизала по зубах храповика під час її прямого ходу. Глибина прорізів на торці важеля для стопорного штифта має відповідати конструктивним вимогам: при входженні штифта у глибоку поздовжню проріз собачка впирається в западину між зубами храповика, а штифт не доходить до дна; при вході у дрібну

поперечну проріз штифт упреться в дно, не допускаючи контакту кінця собачки із вершинами зубів.

Правильно змонтований і відрегульований храповий механізм забезпечує можливість подачі в обох напрямках та регулювання її величини в межах від одного зуба храповика до максимального числа зубів, визначеного кутом коливання собачки.

11.8 Узагальнення інформації по методам контролю точності машини та її вузлів

Контроль різьбових з'єднань проводять для забезпечення правильного затягування та надійності вузлів. Визначення моменту затягування здійснюють за допомогою граничних і динамометричних ключів, а точність зусилля можна перевірити виміром видовження болта або шпильки за допомогою індикатора чи мікрометра. Випробування зібраного трубопроводу на міцність і герметичність виконують шляхом заповнення його водою та фіксації місць можливих витоків. Після цього воду зливають, а виявлені протікання усувають ущільненням, і під час гідравлічних випробувань перевіряють всі елементи та з'єднання під тиском, який визначено технічними умовами.

Контроль складання підшипників ковзання зосереджений на правильному розташуванні підшипникових опор для забезпечення співвісності валів, що є основним критерієм працездатності підшипника. Перевірку здійснюють різними методами, включаючи застосування еталонного вала, лінійки з щупом, струни з штихмасом або мікрометричного нутроміра, а також оптичними способами. Для окремо розташованих підшипникових опор додатково визначають навантаження під кожною опорою за допомогою динамометрів. У підшипниках кочення контролюють щільність прилягання кілець до заплечиків валу, використовуючи щуп для вимірювання зазорів, і перевіряють осьові та радіальні зазори для запобігання передчасному зносу.

Пасові передачі перед установкою на вал перевіряють на биття, використовуючи індикатори або рейсмуси, а також оцінюють прямолінійність

вісей шківів за допомогою стрілок і висків. Для забезпечення стабільності роботи шківів піддають статичному або динамічному балансуванню. Ланцюгові передачі контролюють обертанням зірочки вручну або за допомогою важеля, оцінюючи легкість ходу, правильність входження ланок на зуби зірочки та їх зняття з неї, при цьому важлива візуальна оцінка зачеплення. Зубчасті передачі перевіряють за відстанню між осями валів і отворами корпусу за допомогою калібрів або штангенциркуля, контролюють радіальне та торцеве биття, щільність прилягання колеса до буртика, а також боковий зазор щупом або індикатором. Якість зачеплення оцінюють фарбою, наносячи тонкий шар на зуби меншого колеса та повертаючи його на один оберт; оцінка плями контакту на більшому колесі має становити 60–70 % площі зуба. Для конічних передач контролюють боковий зазор і фарбою визначають правильність контакту на бічній поверхні зуба, що має покривати не менше 70 % площі. У черв'ячних передачах перевіряють суміщення середньої площини колеса з віссю черв'яка, а фарба повинна покривати 50–60 % поверхні зуба; боковий зазор визначають обертанням черв'яка при нерухомому колесі, використовуючи індикатори на важелях, закріплених на кінцях валів.

Механізми поступального руху перевіряють на площинність, паралельність і перпендикулярність поверхонь напрямних, а також на правильність геометричної форми за допомогою кутомірів, шаблонів або фасонних плит. У кривошипно–шатуних механізмах оцінюють геометричну форму і розміри отворів шатуна за допомогою мікрометричного нутроміра, визначаючи овальність і конусність. Прямолінійність, скрученість і вигин шатуна контролюють спеціальними пристроями, а паралельність осей отворів верхньої та нижньої головок перевіряють на відповідному стенді. Перед установкою поршневого кілець оцінюють їх пружність і щільність прилягання до циліндра та вимірюють зазор між торцями у стику.

Елементи гідросистем перевіряють на герметичність зовнішнім оглядом і в умовах максимально допустимої температури робочої рідини. Контроль параметрів здійснюють на спеціальних стендах із фільтрацією та

охолодженням, а безперервний контроль тиску проводять манометрами. Насоси під час випробувань оцінюють подачу, приведену потужність і об'ємний ККД, при цьому відхилення номінальної частоти обертання від дійсної не повинно перевищувати 5 %. Гідромотори перевіряють на витрати рідини, крутний момент і об'ємний ККД при номінальному тиску і частоті обертання, а також визначають витоки в кінцевих і середніх положеннях поршня під тиском не менше 1,25 номінального, витоки вимірюють не менше двох хвилин у кожному положенні.

Заключним етапом є випробування складених машин і складальних одиниць. Тут перевіряють роботу машини в умовах, наближених до експлуатаційних, що дозволяє оцінити не лише якість складання, а й надійність усієї конструкції. При цьому дефекти, які виникли через порушення термічної обробки деталей, недотримання режимів механічної обробки або проблеми з литтям антифрикційного сплаву, можуть проявитися лише під час випробувань, навіть якщо складання виконано правильно. Недотримання технології термічної обробки може призвести до недостатньої твердості поверхні, а порушення режимів шліфування – до появи неглибоких тріщин. Відшарування антифрикційного сплаву у підшипниках також проявляється лише при роботі вузла. Таким чином, випробування готової машини є остаточною перевіркою не лише правильності складання, а й ефективності всього виробничого процесу.

Запитання для самоконтролю

1. Які умови необхідно забезпечити для нормальної роботи зубчастих коліс під час складання?
2. Які основні похибки можуть виникнути при установці зубчастих коліс на вали, і як їх перевіряють?
3. У чому полягає особливість складання та регулювання конічних зубчастих передач, і які вимоги висуваються до їхньої якості?
4. Які види зубчастих передач розглядаються в лекції, і чим відрізняється їх конструкція та процес складання?
5. Як здійснюється перевірка правильності зачеплення зубчастих передач, і які інструменти для цього використовуються?
6. Які основні деталі входять до складу поршневої групи, і які їхні функції?
7. Чому при складанні поршневого пальця іноді нагрівають поверхню поршня, і до якої температури?
8. Як забезпечується правильний зазор між поршнем і циліндром, а також між поршневими кільцями та канавками?
9. Які типи зазору у поршневих кільцях і які наслідки можуть виникнути при неправильному їх налаштуванні?
10. Які особливості використовуються для стиснення поршневих кілець перед встановленням у циліндр?

Лекція №12. ВИПРОБУВАННЯ ТА ЗАХИСТ СКЛАДАЛЬНИХ ВИРОБІВ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Види випробувань;
- Програма та етапи проведення випробувань;
- Контроль параметрів роботи механізмів;
- Оцінка надійності, довговічності та безвідмовності виробів;
- Класифікація контрольно-випробувальних робіт;
- Балансування механізмів: статичне та динамічне;
- Структура технологічного процесу балансування (ТПБ) та операції балансування;
- Пристрої та верстати для статичного та динамічного балансування;
- Способи усунення дисбалансів ротора;
- Точність балансування та класи точності жорстких роторів;
- Фарбування виробів та сушіння лакофарбових поверхонь.

Ключові слова: випробування, приймальні випробування, контрольні випробування, спеціальні випробування, автоматизовані випробування, надійність, довговічність, безвідмовність, дефекти, супровідна карта, дисбаланс, головний вектор дисбалансів, головний момент дисбалансів, ексцентриситет, питомий дисбаланс, коригувальна маса, усунення дисбалансів, фарбування, сушіння, конвекційне, терморадіаційне, індукційне, ультрафіолетове.

12.1 Випробування складальних виробів

Випробування складальних виробів виступають завершальним етапом перевірки їхньої якості та функціональної придатності і проводяться в умовах, максимально наближених до реальних експлуатаційних. Основна мета таких випробувань полягає в оцінці правильності роботи всіх механізмів,

взаємодії рухомих елементів, а також у перевірці потужності, продуктивності та точності машини [3; 8; 9].

Приймальні випробування дозволяють визначити реальні експлуатаційні характеристики виробу, встановити правильність роботи механізмів, а також взаємодію рухомих частин. Зазвичай починають з холостого ходу, під час якого перевіряють роботу органів керування, автоматичних пристроїв, надійність блокувань і точність функціонування. При цьому контролюють температуру підшипників: кочення не повинно перевищувати 70 °С, ковзання – 60 °С, а інших механізмів – 50 °С [3]. Після цього проводять випробування під навантаженням, що імітує реальні умови роботи виробу. Наприклад, двигун внутрішнього згоряння підключають до спеціальної рами та гальмівного пристрою, який дозволяє регулювати навантаження, а також підключають системи охолодження, мастильну і паливну апаратуру, що дає змогу оцінити витрати палива і мастила та експлуатаційні характеристики двигуна і всіх механізмів [3].

Продуктивність окремих виробів перевіряють на спеціальних зразках або машинах спеціального призначення. Жорсткість машин визначають методами, встановленими державними стандартами, що дозволяє оцінити стабільність технологічних систем, наприклад у токарних верстатах, а отримані значення заносять до паспорта виробу [1; 2]. Випробування потужності проводять для одиничних виробів, що дозволяє визначити ККД при максимальному навантаженні, тоді як прості машини або ті, що мають значний запас потужності, до тестування не допускають. Контроль точності необхідний для верстатів, пресів та інших виробів, де важливе забезпечення заданих геометричних параметрів виробів, а методика оцінки визначається державними стандартами [6]. Для машин оригінальної конструкції розробляють індивідуальні програми випробувань, які залежать від їх призначення та необхідної точності.

У ході тестування додатково оцінюють нагрівання, рівень вібрацій, шум і герметичність систем. Випробування завжди починають з холостого

ходу, поступово нарощуючи навантаження до робочого режиму. Одночасно контролюють роботу органів керування, систем блокування та фіксації, підшипників, зубчастих коліс, валів і муфт. Особливу увагу приділяють відсутності заїдань, безвідмовності роботи основних і допоміжних механізмів та правильності зачеплень [3].

Кожен вид випробувань здійснюється за спеціальною програмою, погодженою із замовником, і проводиться на універсальних, спеціалізованих або індивідуальних стендах. Всі результати заносять у супровідні карти з позначенням виявлених дефектів. Після усунення недоліків виріб повторно перевіряють, і випробування вважається успішним, якщо протягом його проведення машина працювала без зупинок, а всі механізми та вузли виконували свої функції без відхилень [3].

В автоматизованих випробуваннях виріб розміщують на стенді, підключають до необхідних комунікацій, після чого тестування відбувається за попередньо заданою програмою з автоматичним записом результатів [3]. Контрольні випробування передбачають перевірку виробів, у яких раніше виявили дефекти, а також перевірку виробів із високими технічними вимогами. У цьому випадку машину після складання можуть розбирати частково або повністю для оцінки стану деталей, вузлів і механізмів, після чого здійснюють повторні контрольні випробування [3].

Спеціальні випробування спрямовані на визначення зношення, надійності, довговічності та безвідмовності окремих елементів, а також для оцінки придатності нових матеріалів. Такі випробування дозволяють досліджувати явища, що виникають під час роботи виробу, і виконуються на спеціальних стендах відповідно до програми, розробленої залежно від мети дослідження. Систематичні спостереження за експлуатацією та аналіз рекламаций дозволяють отримати більш повну інформацію про якість виробу [3].

Вибір засобів випробувань (табл. 12.1) здійснюють на основі характеристик процесу та економічної доцільності, враховуючи ефективність використання вимірювальних приладів, швидкість обробки результатів і

можливість застосування уніфікованих стандартних засобів. Пристрої для випробувань повинні забезпечувати необхідні навантаження, стабільність параметрів, високу точність, переналагоджуваність під різні вироби та зручність обслуговування [3]. В цілому, контрольно-випробувальні роботи відрізняються за цілями та методами проведення, проте завжди спрямовані на підтвердження відповідності виробу технічним вимогам та стандартам безпеки [1].

Табл. 12.1. Класифікація контрольно-випробувальних робіт [3]

Класифікаційна ознака	Вид випробувань і контролю
Показники безвідмовності й довговічності	На працездатність (функціональні), на надійність і ресурс
Вид факторів, що впливають	Теплові впливи високих температур, механічні (на вплив постійної сили, вібрацію, удар, трясіння, лінійні прискорення), гідрогазове (на вплив постійного тиску, пульсуючого тиску, гідравлічних ударів), акустичні, електричні, магнітні, корозійні, хімічні, кліматичні та біологічні, комплексні або комбіновані
	Випробування на вплив основних факторів, які викликають або стимулюють роботу об'єкта випробувань; випробування на вплив дестабілізуючих факторів
Вид випробувань	Неруйнівні, руйнівні, відновлювані, невідновлювані
Контрольовані параметри	Контроль монтажних параметрів (що характеризують якість монтажних робіт); контроль якості функціональних параметрів, що характеризують роботу об'єкта випробування в цілому, у тому числі якість регулювальних та налагоджувальних робіт
Об'єкти випробувань	Вхідні (при випробуванні функціональних і технологічних елементів систем), автономні (при випробуванні окремих систем), комплексні (при випробуванні комплексу спільно діючих систем)
Етапи проведення	Конструкторські (дослідні) і відпрацювальні, виробничі (дослідні технологічні)
Темп випробувань	Нормальні, прискорені
Місце випробувань	Заводські й ті, що проводять в реальних умовах експлуатації виробу (аеродромні та льотні)

12.2 Балансування механізмів

Сучасний розвиток техніки характеризується постійним зростанням швидкостей обертання роторів у машинах, механізмах і приладах. Під ротором у цьому випадку розуміють будь-який елемент — від окремої деталі або вузла до цілого пристрою, що здійснює обертальний рух. Природним наслідком підвищення швидкостей є поява значних вібрацій, які створюють додаткові навантаження на деталі, прискорюють їх знос, скорочують термін служби виробів і негативно впливають на організм людини [1].

Щоб мінімізувати шкідливі вібрації, інженери під час проектування намагаються забезпечити симетрію маси всіх рухомих частин і правильність конструктивних рішень. Проте в процесі виготовлення, ремонту та експлуатації виникають відхилення від ідеальної симетрії, що призводить до дисбалансу ротора. Для усунення таких дисбалансів застосовують балансування, яке полягає у зміні маси або геометрії ротора з метою вирівнювання силових впливів [1].

Балансування визначає числові величини дисбалансу і кути, під якими він проявляється, після чого проводиться його корекція. Воно буває статичним і динамічним. При статичному балансуванні усувають невідповідність між центром мас і віссю обертання, тоді як динамічне балансування спрямоване на усунення невідповідності між віссю обертання та віссю моменту інерції ротора [1].

На практиці деталі і вузли жорсткої конструкції з коловою швидкістю обертання до 5–6 м/с піддають лише статичному балансуванню. Якщо довжина деталі в три рази перевищує діаметр або колова швидкість перевищує 3–6 м/с, застосовують динамічне балансування. Статичне балансування виконують на спеціально підготовлених загартованих призмах. Довжина призм підбирається так, щоб деталь могла здійснити 1,5–2 оберти. Під дією нерівноваженої маси ротор нахиляється важкою стороною вниз, після чого на протилежній частині встановлюють вантаж такої ж маси, щоб врівноважити

систему. Для подовжених деталей врівноважувальний вантаж зміщують вбік, що дозволяє створити протилежно спрямовані сили. Проте навіть така статична балансування не забезпечує рівномірної роботи при високих кутових швидкостях, оскільки виникає момент, який прагне повернути подовжню вісь деталі. Це додатково навантажує підшипники, тому вали та подібні деталі доцільніше піддавати динамічному балансуванню [1].

Балансування на шарикопідшипникових або роликових опорах здійснюють аналогічно роботі на призмах. Точність балансування зростає зі зменшенням опору в опорах. У серійному та масовому виробництві статичне балансування також проводять на спеціальних балансувальних вагах.

Динамічне балансування виконують на спеціалізованих верстатах, які мають складну кінематичну та електричну схему, що забезпечує високу точність [1]. Більшість методів динамічного балансування ґрунтуються на припущенні, що амплітуда вібрацій підшипників пропорційна силам, які їх викликають, а зсув фаз між напрямком максимального відхилення і напрямком дії сили залишається незмінним при постійній частоті обертання.

Для усунення динамічного дисбалансу застосовують різні методи. Це може бути видалення частини металу у противагах, наприклад, при балансуванні колінчастих валів, корекція маси гайок і шайб при балансуванні молотильних барабанів, або зміна маси неробочої частини маховика, коли колінчастий вал збалансовують у складі з маховиком. Такі методи дозволяють досягти необхідної рівноваги ротора і забезпечують зниження вібрацій під час роботи [1].

12.3 Одиниці вимірювання дисбалансів та основні поняття технології балансування

Дисбаланс ротора є векторною характеристикою, яка визначається як добуток неврівноваженої маси на відстань її розташування від осі обертання, тобто на ексцентриситет. Під ротором розуміють деталь або складальний вузол, що під час обертання утримується своїми опорними поверхнями [3].

Для вимірювання дисбалансу застосовують одиниці грам–міліметр (г·мм) або градуси (...°), які дозволяють оцінити величину дисбалансу та кут його прояву. Питомий дисбаланс, який позначається як [(г·мм)/кг = мкм], означає відношення модуля головного вектора дисбалансу до маси ротора [3]. Незалежно від причин (похибок виготовлення заготовки, механоскладального виробництва, змінення умов експлуатації), які спричинили зміщення центра маси від осі обертання, усі дисбаланси ротора зводяться до двох векторів – головного вектору дисбалансів $D_{ст}$ і головного моменту дисбалансів M_D [3].

Головний вектора дисбалансів $D_{ст}$ розміщений у центрі маси і дорівнює добутку маси неврівноваженого ротора на його ексцентриситет

Головний момент дисбалансів M_D дорівнює геометричній сумі моментів усіх дисбалансів ротора відносно центра маси. Головний момент дисбалансів перпендикулярний до головної центральної осі інерції та осі ротора і обертається разом із ротором.

Головний вектор дисбалансів у площинах опор можна замінити його складовими (симетричними дисбалансами).

Головний момент дисбалансів у тих самих площинах опор можна замінити парою сил (кососиметричними дисбалансами).

Дисбаланс є векторною величиною і повністю визначається на роторі у вибраній площині кутом дисбалансу, а також числовим значенням дисбалансу за формулою [3]:

$$D_i = m_i \cdot e_i,$$

де m_i – неврівноважена маса;

e_i – модуль ексцентриситету відносно осі обертання.

Площина може використовуватися для задання дисбалансу (площина зведення дисбалансу), коригування маси ротора (площина коригування), вимірювання дисбалансу (площина вимірювання дисбалансу).

Дисбаланси у різних двох площинах уздовж осі ротора різні, їх кути та числові значення можуть визначатися розрахунком або за допомогою балансувального устаткування.

12.4 Структура технологічного процесу балансування

Структура технологічного процесу балансування (ТПБ) визначається призначенням балансування, типом виробництва, розмірами деталі або складальної одиниці, точністю балансування, технологічним устаткуванням і оснащенням [3].

Балансування – це визначення числових значень та кутів дисбалансів ротора і подальше їх зменшення коригуванням масою ротора.

Виявлення і визначення головного вектора дисбалансів можна виконувати у статичному (за дією сили ваги) або у динамічному (за примусовим обертанням) режимі. Головний момент дисбалансів визначається тільки у динамічному режимі [3].

Дію дисбалансів на ротор можна знижувати або усувати додаванням, зменшенням і переміщенням коригувальної маси (кількох мас), які створюють дисбаланс такого значення, як і неврівноважений ротор, але кут дисбалансу має 180° відносно дисбалансу ротора.

Розрізняють такі дисбаланси: початковий – до коригування мас, остаточний – після коригування мас, припустимий – прийнятний за умовами експлуатації машин, питомий – відношення модуля головного вектора до маси ротора [3].

Ротор може бути врівноважений за одну або декілька операцій. Операція складається із типових переходів [3].

Перший перехід – вимірювальний. Тут виявляються і визначаються числове значення і кут дисбалансів.

Другий перехід – перетворювальний. На переході перетворюються визначені дані першого переходу у параметри технологічного методу, прийнятого для коригування мас дисбалансів.

Третій перехід – відсторонений. На переході відбувається коригування (усунення) дисбалансів до заданих значень.

Балансувальні операції можуть виконуватися на різних стадіях виробничого процесу: на початку обробки заготовки, після завершення усіх операцій механічної обробки деталі, в технологічному процесі складання різних складальних одиниць, а також виробу.

Ряд виробів має керівний балансувальний пристрій (КБП) або автоматизований балансувальний пристрій (АБП). КБП і АБП дозволяють періодично коригувати дисбаланси, які виникають при використуванні виробу (зношення, нагрівання, змінювання маси і т. ін.) [3].

12.5 Пристрої та верстати для балансування

Стенди (верстати) для статичного балансування у статичному та динамічному режимах. Розглянемо спосіб виявлення статичної невірноваженості складальних одиниць. Головний вектор дисбалансів ротора, що перебуває у стані спокою, під дією сили ваги створює момент відносно осі або точки, за яку підвішений ротор. Момент сил змушує ротор повернутися таким чином, щоб так зване «важке» місце (центр його мас) зайняло найнижче місцеположення. На цьому способі ґрунтується дія різних засобів та стендів для статичного балансування у статичному режимі (див. Рис. 12.1) [3].

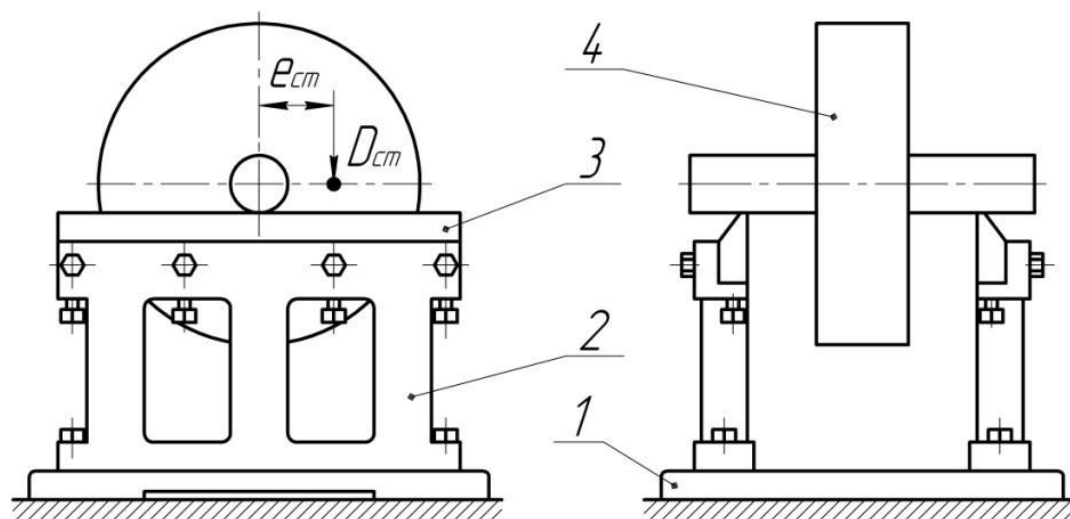


Рис. 12.1. Стенд із горизонтальними паралельними призмами: 1 – фундамент; 2 – стійка; 3 – призми із різним поперечним перерізом; 4 – ротор [3]

Ротор, що має отвір, надівається на базову поверхню оправки без зазору (див. рис. 12.1). Базова поверхня оправки виконана концентрично із її поверхнями, якими складальна одиниця котиться по призмах. Точність визначення «важкого» місця залежить від маси ротора і величини тертя між оправкою і призмами. Для зменшення величини тертя і підвищення точності балансування на опори стенда накладають вібрації (див. рис. 12.2) [3].

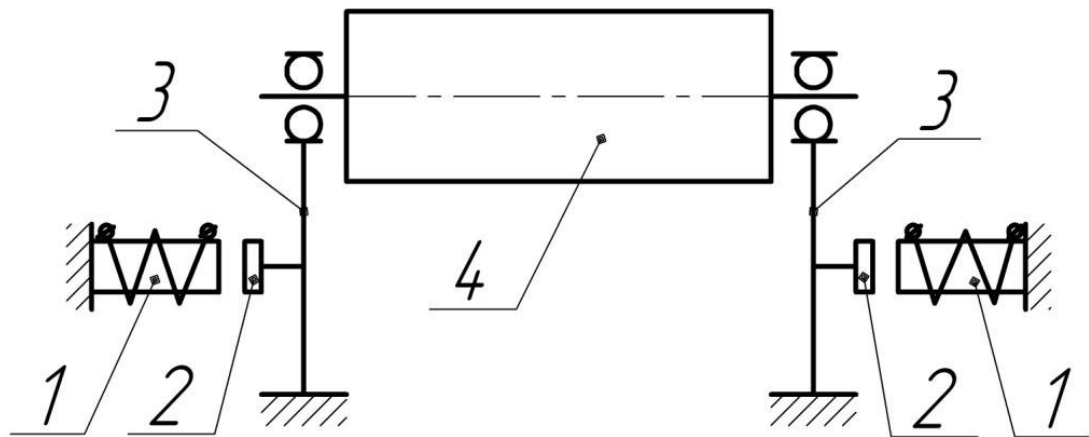


Рис. 12.2. Схема стенда для статичного балансування ротора із підшипниковими опорами і накладеними вібраціями: 1 – електромагніт; 2 – якор; 3 – опори стенда із підшипниками; 4 – ротор [3]

Другий спосіб, на якому ґрунтується дія пристроїв для виявлення статичної неврівноваженості полягає у змінненні положення центра мас ротора у горизонтальній площині за примусовим обертотом ротора. Таким пристроєм є балансувальні терези (див. рис. 12.2). Вони застосовуються для роторів із невеликою вагою [3].

Рівновага забезпечується шляхом переміщення вантажу у різних кутових положеннях ротора (зміщується центр маси m_0 ротора на відстань $\pm e_{ст}$ – довжину важеля).

Для визначення ексцентриситету маси важких роторів із великим діаметром застосовують їх примусове обертання. Цей спосіб має назву статичного балансування у динамічному режимі. За цим способом працюють спеціальні балансувальні верстати із вертикальною віссю обертання (див. рис. 12.3) [3].

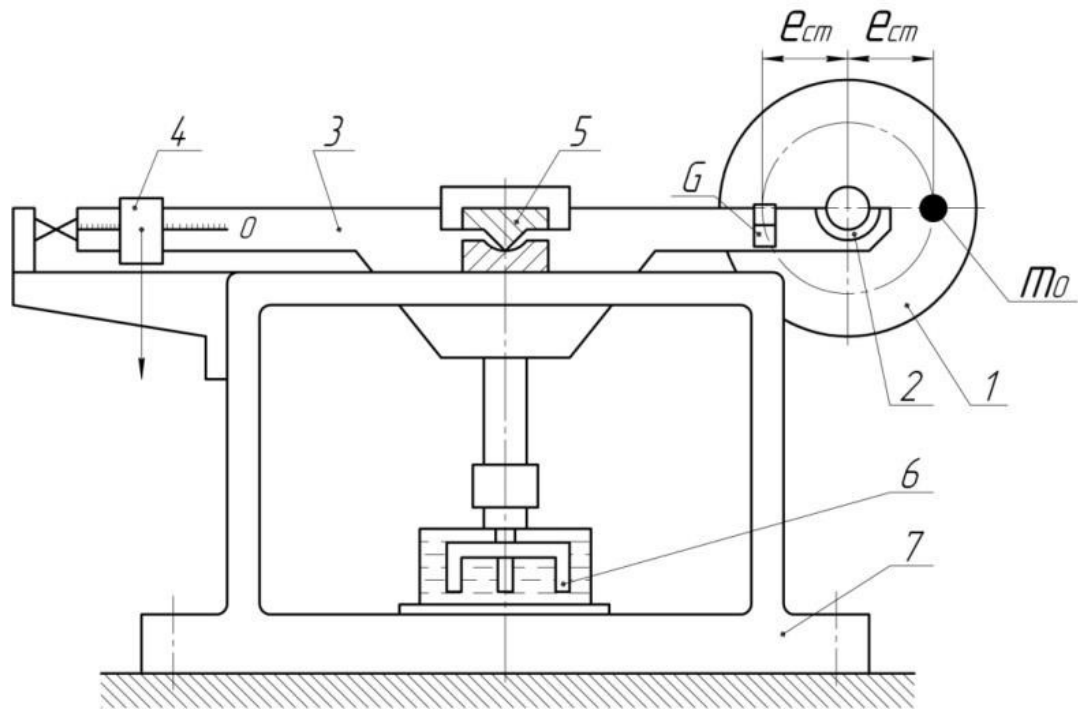


Рис. 12.3. Балансувальні терези із горизонтальною віссю ротора: 1 – балансувальний ротор; 2 – опори; 3 – важіль терезів; 4 – рухома вага терезів; 5 – опора-призма важеля; 6 – демпфер коливань; 7 – станина [3]

Сила, яка давить на опори або коливання системи, визначається за формулою [3]:

$$P = m_p \cdot e_{cm} \cdot \omega^2$$

де m_p - маса ротора;

ω - кутова швидкість.

Ротору 1 (див. рис. 12.4), насадженому на оправку шпинделя 2, надають обертів від електродвигуна 3, що спричиняє коливання системи відносно фіксованої осі.

Система «ротор– шпиндель–електродвигун» пов'язана із станиною 4 жорстким зв'язком або пружинами 6. Вібраційний перетворювач 5 є першим ланцюгом системи для вимірювання кута і значення дисбалансу. Різновидом кінематики таких верстатів є коливання системи відносно фіксованої площини або вільного зв'язку із станиною [3].

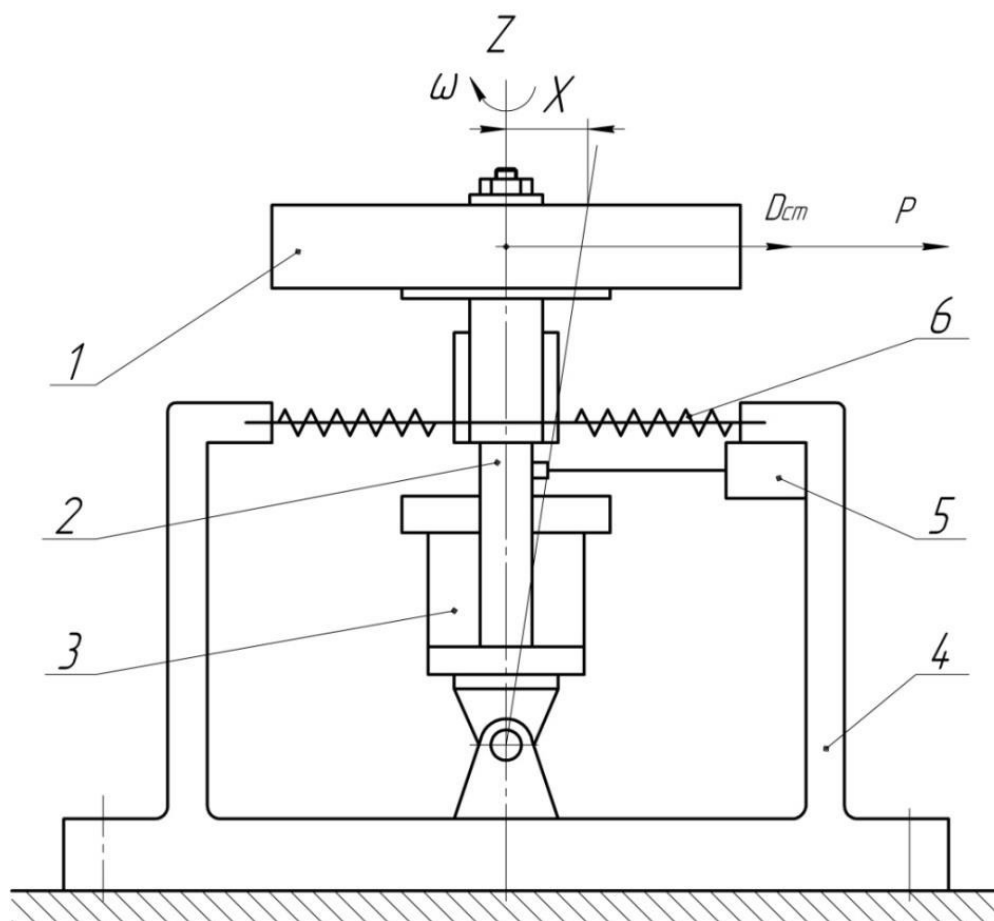


Рис. 12.4. Схема верстата для статичного балансування у динамічному режимі із фіксованою віссю: 1 – ротор; 2 – оправка шпинделя; 3 – електродвигун; 4 – станина; 5 – вібраційний перетворювач; 6 – пружина [3]

Верстати для динамічного балансування деталей або складальних одиниць. Відхилення від паралельності осі обертання ротора навколо його головної центральної осі інерції може бути визначено обертанням складальної одиниці або деталі на спеціальному балансувальному верстаті. Дію на ротор головного моменту і головного вектора замінюють дією еквівалентних систем. При обертанні неврівноважених мас, які знаходяться від осі на відстані e виникають відцентрові сили пропорційні дисбалансам у площинах опор [3]:

$$F_A = m_A \cdot e_A \omega^2 \quad F_B = m_B \cdot e_B \omega^2$$

Відцентрові сили спричиняють тиснення або вібрації в опорах ротора, які відчувають вібраційні перетворювачі і фіксуються спеціальною вимірною системою. Наведений спосіб виявлення дисбалансів використовується практично у всіх балансувальних верстатах.

Балансувальні верстати розрізняють [3]:

- за видом балансування (статичний та динамічний);
- за режимом балансування (статичний та динамічний);
- за робочою частотою обертання ротора (дорезонансні, резонансні, зарезонансні);
- за типом роторів (горизонтальні та вертикальні);
- за ступенем автоматизації (неавтоматичні, напівавтоматичні, автоматичні);
- за кількістю та спеціалізацією робочих позицій (верстати і стрічки).

Технічні дані балансувальних верстатів для динамічного балансування наводяться у довідниках.

12.6 Способи усунення дисбалансів ротора

Зменшення дисбалансів ротора відбувається за рахунок коригувальної маси, яка видаляється із тіла ротора або додається до нього, а також може переміщуватися по поверхні ротора [3].

Коригувальна маса за показниками балансувального устаткування видаляється різними технологічними методами: пилянням, відламуванням спеціальних приливів, точінням, фрезеруванням, шабруванням, шліфуванням, свердленням.

Додавання коригувальної маси до ротора у протилежній фазі виконують зварюванням, клепанням, паянням, прикручуванням спеціальних елементів визначеної маси на розрахованому радіусі. У деяких випадках матеріал коригувальної маси напилюють, наплавляють або використовують інші методи.

У деяких випадках при експлуатації складальних одиниць виникає безперервне змінення дисбалансу під впливом зношення або змінення навантажень. У цьому разі економічно вигідно застосовувати КБП або АБП, які у потрібний час виконують корекції маси. КБП мають спеціальні елементи

(втулки, сектори, сухарі, кулі, гвинти), які переміщуються у потрібне місце ротора [3].

12.7 Точність балансування

Точність балансування визначається за критерієм, який дорівнює добутку питомого дисбалансу та частоти обертання ротора в умовах експлуатації. Згідно з визначеним критерієм стандартами передбачено 13 класів точності (від 0 до 12). Для визначення класу точності складальних одиниць можна використовувати дані, які наведені у Табл. 12.2 [3].

Табл. 12.2. Класи точності балансувальних складальних одиниць жорстких роторів [3]

Клас точності балансування	Типи жорстких роторів
1	Шпинделі високоточних шліфувальних верстатів, гіроскопи
2	Приводи шліфувальних верстатів
3	Турбокомпресори, турбонасоси, приводи металорізальних верстатів, ротори електродвигунів із підвищеними вимогами до плавності руху
4	Ротори електродвигунів, крильчатки відцентрових насосів, маховики, вентилятори, барабани центрифуг
5	Ротори сільськогосподарських машин, колінчасті вали, двигуни з підвищеними вимогами до плавності руху
6	Колеса легкових автомобілів, бандажі, колісні пари
7	Колінчастий вал із маховиком, муфтою щеплення, шківом високообертального шестициліндрового дизельного двигуна
8	Те ж саме, для чотирициліндрового дизельного двигуна
9	Те ж саме, для чотиритактного двигуна великої потужності
10	Те ж саме, для двотактного двигуна великої потужності
11	Те ж саме, для низькообертального судового двигуна із непарною кількістю циліндрів

Точність технологічної операції залежить від обраного методу коригування мас, конструкції ротора та інших факторів. Ефективність виконання і-го переходу усунення дисбалансу можна визначити за формулою [3]:

$$\delta_i = \sqrt{(\delta_N - \cos \Delta_\varphi)^2 + (\sin \Delta_\varphi)^2}$$

де δ_i – ступінь зменшення дисбалансу;

δ_N – похибка переходу за значенням дисбалансу;

Δ_φ – похибка переходу за значенням кута дисбалансу.

У багатьох випадках усунення дисбалансу виконується свердлінням «глухого» отвору вздовж осі ротора. При свердлінні виникають три елементарні похибки: похибка величини маси матеріалу, який висвердлюється Δm , похибка розміщення центра маси на радіусі R ротора ΔR , похибка розміщення центра маси уздовж осі ротора Δ_0 .

Момент M_0 , який виникає при свердлінні маси матеріалу розраховується за формулою [3]:

$$M_0 = F_1 \cdot L = m \cdot R \cdot \omega^2 \cdot L \quad (12.1)$$

де F_1 – відцентрова сила;

L – відстань між площинами, де розміщена маса корекції під час виконання динамічного балансування;

m – маса матеріалу, що висвердлюється;

R – розрахований радіус корекції ротора;

ω – кутова швидкість ротора.

У формулі (12.1) перелічені величини, яких у практичних умовах дотримуються із деякими похибками: Δm , ΔR , $\Delta \omega$, ΔL . Якщо значення похибок незначне, то можна визначити ступінь впливу кожної похибки на максимальну похибку δ_M за формулою [3]:

$$|\delta_M| = \left| \frac{\Delta m}{m} \right| + \left| \frac{\Delta R}{R} \right| + \left| \frac{2\Delta \omega}{\omega} \right| + \left| \frac{\Delta L}{L} \right| \quad (12.2)$$

Дослідження реального технологічного процесу та конструкції ротора дозволяють визначити значення величин, зазначених у формулі (12.2), та вплив кожної похибки на величину дисбалансу.

12.8 Фарбування виробів

Мета фарбування виробів – захистити металеві поверхні від корозії та надати їм декоративний зовнішній вигляд. Технологічний процес фарбування складається із таких основних операцій [3]:

- підготовки поверхні;
- ґрунтування;
- шпаклювання;
- нанесення лакофарбових матеріалів;
- сушіння покритих поверхонь;
- оздоблювання поверхонь.

Підготовка поверхні до фарбування полягає в очищенні поверхні такими способами: ручним і механізованим інструментами (скребачкою, металевими щітками, наждачними шкурками, голкофрезами, шліфувальними кругами); піщано– і дрібноструминним, дрібнометальним, гідроабразивним, віброабразивним, пароводоструминним, гідродинамічним, ультразвуковим очищенням. Для очищення поверхонь також застосовують мийні та очищувальні засоби, хімічні методи очищення, очищення занурюванням і т. ін [3].

Після підготовки поверхню ґрунтують із метою недопущення її окиснення та забруднення. Перед ґрунтуванням із поверхні видаляють шар жиру та оксидів. Ґрунтовку накладають рівномірним шаром товщиною 12–20 мкм. Якщо ґрунтовка фосфатувальна, то товщина шару становить 5–8 мкм. Далі поверхню із ґрунтовим шаром висушують (використовують спеціальні режими гарячого сушіння) [3].

Шпаклювання відбувається після ґрунтування з метою замазування невеликих заглиблень, раковин, подряпин та інших дефектів. Шпаклювання здійснюють у тих випадках, коли іншими методами неможливо виправити

дефекти поверхонь. У багатьох випадках потрібно вирівняти площину поверхні. Для цього шпаклівку наносять декількома тонкими шарами. Кожний шар наносять тільки після повного висушування попереднього. Загальна товщина шпакльованої поверхні не перевищує $0,5 \div 0,6$ мм. Після шпаклювання поверхні висушують, а потім ретельно шліфують [3].

Лакофарбові матеріали наносять після операцій ґрунтування і шпаклювання (якщо остання потрібна). Згідно з вимогами до зовнішнього вигляду та умовами експлуатації виробу визначають кількість шарів і товарний знак лакофарбового матеріалу. Наносять емаль способом розпилювання. Кожний наступний шар наносять на добре висушений попередній шар. У деяких випадках окремі шари не висушують, а потрібну кількість шарів наносять відразу («мокрим по мокрому») і тільки потім їх сушать [3].

Щоб фарбована поверхня мала найпривабливіший вигляд (наприклад, рівномірний дзеркальний блиск), останній шар покриття полірують спеціальною полірувальною пастою. Полірують (шліфують) лакофарбові покриття електромеханічними і пневматичними апаратами, у яких є обертальний, поступальний або обертально–поступальний рухи.

Фарбувати можна ручним способом: щіткою або валиком, ручним фарборозпилювачем, безповітряним розпилювачем, занурюванням, струминним обливанням, електричним осаджуванням в електричному полі із високою напругою, за допомогою аерозольних балонів, в розпилювальних камерах.

До розпилювальних приладів і апаратів належать: компресорно–повітряні прилади, прилади безповітряного розпилювання, прилади для розпилювання в електричному полі. Фарборозпилювачі для ручного фарбування виготовляють у вигляді пістолетів–розпилювачів.

Автоматичне фарбування здійснюється на стаціонарних приладах із дистанційним керуванням, у які лакофарбові матеріали надходять централізовано по трубопроводах від насосної станції.

12.9 Сушіння лакофарбових поверхонь виробів

Сушіння є складним хімічним процесом, який складається із випаровування розчину та окиснення або полімеризації плівки. Розрізняють сушіння природне і штучне [3].

Природне сушіння застосовують для швидковисихаючого покриття. Процес сушіння значно прискорюється під час безперервної циркуляції повітря [3].

Штучне сушіння виконують за рахунок різних способів передавання тепла до пофарбованої поверхні. До цих способів відносять: конвективне сушіння, інфрачервоне випромінювання (терморадіаційне сушіння), сушіння індукційним струмом високої і промислової частоти, ультрафіолетове випромінювання. У промислових умовах використовують сушильні камери конвективного, терморадіаційного і терморадіаційно–конвективного типу [3].

Конвективні сушильні камери – це закриті металеві прямокутні короби із дверцями або відкритими прорізами. Камери містять нагрівальні прилади і залежно від виду теплового носія бувають водяними, паровими, електричними або газовими. Обігрівання камер здійснюється безперервно циркулюючим нагрітим повітрям. Принцип роботи терморадіаційних сушильних камер – це поглинання пофарбованою поверхнею теплового випромінювання (інфрачервоного). Спочатку нагрівається поверхня виробу, а потім нанесене на його поверхню лакофарбове покриття. Пари розчинів рухаються із нижніх шарів і нагрівають верхні шари покриття. Таким чином, покриття нагрівається одночасно енергією інфрачервоного випромінювання і тепловою енергією випаровуваного розчину. Наведений ефект прискорює в 4–15 разів терморадіаційне сушіння порівняно із конвективним сушінням. Як джерело випромінювання в терморадіаційних сушильних камерах використовують спеціальні лампи розжарювання, панельно–плиткові нагрівачі, трубчасті електричні нагрівачі із алюмінієвими рефлекторами і без рефлекторів [3].

Запитання для самоконтролю

1. Види випробувань складальних виробів.
2. Для чого використовують контрольні та спеціальні випробування?
3. За якими показниками вибирають засоби випробувань?
4. Із яких основних операцій складається технологічний процес фарбування виробів?
5. Сушіння лакофарбових поверхонь виробів.
6. Основні одиниці вимірювання дисбалансів.
7. Структура технологічного процесу балансування.
8. Як розрізняють незбалансованість вузла або деталі?
9. Перелічити верстати та пристрої, які використовуються для статичного балансування.
10. Види верстатів для динамічного балансування.
11. Як усувається незбалансованість шківів?
12. Як балансуються шківви та маховики в умовах масового або великосерійного виробництва?
13. Якими шляхами поєднують центри мас та осі деталей (вузлів), які обертаються?
14. Якими способами відбувається усунення дисбалансу ротора?
15. Що розуміють під точністю балансування?

Лекція №13. КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ ДЛЯ РУЧНОГО СКЛАДАННЯ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Потреба в дизайні для виробництва та складання (DFMA) та історія його розвитку;
- Виникнення методологій DFA (Design for Assembly) та DFM (Design for Manufacturing);
- Відмінності між DFA та DFM та інтеграція у DFMA;
- Основні завдання методології DFA;
- Практичні аспекти аналізу складності складання виробів (ручне, автоматизоване, комбіноване);
- Принципи проектування деталей;
- Інструкції з проектування для складання та кріплення.

Ключові слова: DFMA, DFA, DFM, Design for Assembly, Design for Manufacturing, промисловий дизайн, історія дизайну, Фредерік Тейлор, Генрі Форд, Крістофер Дрессер, Джозеф Сінел, оптимізація конструкції, мінімальна кількість деталей, спрощення складання, стандартизація, ергономіка, безпека, автоматизація, пірамідальний принцип, ручне складання, кріплення деталей, витрати, надійність, ефективність, виробничий процес, аналітична база, оцінка складності.

13.1 Конструкція для складання та роль DFA у сучасному виробництві

Однією з проблем у виробництві продукції є проблема перетворення того, що потрібно споживачам, у кінцевий дизайн продукту. Компанії–виробники погоджуються з тим, що у процесі виробництва має відбутися еволюція, яка призвела до того, що ми називаємо конструкцією для складання. Конструкція для складання має вирішальне значення, оскільки вона гарантує, що

виробники залишаються актуальними та можуть задовольняти нескінченні вимоги своїх клієнтів.

Протягом багатьох років процеси розробки продукту зазнали великих змін. Це пов'язано з тим, що конструкція процесу виробництва та складання сприяє швидкому виробництву продукції в основному за менших витрат. У цьому розділі ми докладніше розглянемо дизайн для складання, рекомендації DFA та його важливість для виробничих процесів.

13.2 Історія виникнення потреби в дизайні для виробництва та складання

Потреба в проектуванні для виробництва та складання (DFMA) виникла незабаром після початку промислової революції, але знадобилося сто років, щоб вона остаточно з'явилася в центрі уваги в 1960–х роках, і вона не розквітла до 1980–х років.

Шлях до великого обсягу: Фредерік Вінслоу Тейлор і Генрі Форд, співавтори конвеєрного процесу виробництва, почали руйнувати багатовікову модель «Майстер–учень» під час розробки Model A у 1903 році (рис. 13.1).



Рис. 13.1. Ford Model A (1903)

Майстри знали, як робити все, від концепції до замовника, і інтуїтивно розробляти продукти, щоб замовник міг створювати їх ефективно. Але від 8 до 15 років, щоб навчити магістрів усім необхідним навичкам, просто не вистачило, коли справа дійшла до негайного та великого попиту на автомобілі та вантажівки, який виник на початку 1900-х років.

Тож, переходячи від Model A у 1903 році до Model T у 1908 році (рис. 13.2), Тейлор і Форд запровадили спеціалізацію завдань на кожному етапі процесу проектування та виробництва. Завдяки спеціалізації кожну людину можна було навчити виконувати свою частину загального процесу за кілька тижнів до кількох місяців, що призвело безпосередньо до виробництва великих обсягів.



Рис. 13.2. Ford Model T (1908)

Основи спеціалізації виробництва були створені з 1870-х років, коли продуктивні підходи Тейлора зростали та поширювалися. Основи інженерної спеціалізації фактично почалися раніше, у 1850-х роках. Друга промислова революція призвела до абсолютно утилітарних дизайнів продуктів. Естетика ніколи не була важливою.

Як і Тейлор, Крістофер Дрессер (Christopher Dresser) мав на меті покращити зовнішній вигляд виробів. Як перша особа, якій приписують покращення зовнішнього вигляду нових продуктів, Дрессер допоміг багатьом

компаніям наприкінці 1800–х років. Заснування школи дизайну в Род–Айленді в 1877 році підтвердило важливість красивих виробів. Коли Дрессер помер у 1904 році, Джозеф Сінел (Joseph Sinel) став визнаним експертом і ще більше вдосконалив підходи та процеси дизайну продукту.

Перше використання терміну «промисловий дизайн» відбулося в 1919 році і приписується Сінелу (Sinel). Коли в 1934 році Технологічний інститут Карнегі створив офіційну навчальну програму з дизайну продуктів, була встановлена остання віха для спеціальності «Промисловий дизайн».

Невдовзі з'явилися відділи для кожної спеціалізованої можливості. Сьогодні на макрорівні ми розглядаємо їх як блоки першого рівня, такі як маркетинг, інженерія, закупівлі та виробництво в організаційних схемах більшості компаній. Звичайно, кожен із цих блоків першого рівня містить свої відповідні підспеціальності.

Протягом перших кількох десятиліть, коли більшість компаній і галузей залишалися малими та проєктували та виробляли для своїх власних країн, усе це працювало добре. Конвеєрний бізнес та організаційні структури, безсумнівно, виявилися швидшими, ніж підхід «майстер–учень». Однак у міру того, як продукти, що почалися глобалізацією, розроблялися та вироблялися по всьому світу та з'являлися глобальні компанії, недоліки в спеціалізації завдань ставали все більш очевидними.

Інженерна мономанія: самооптимізація інженерії, аналогічна маркетингу та управлінню продуктами, призвела до створення дуже елегантних пакетів дизайну, які виробництво просто не могло виготовити – або для цього знадобилося надто багато часу. Жорсткі специфікації та допуски часто перевищували можливості виробничого обладнання. Компоненти не були оптимально розроблені для інструментів, обладнання та процесів, фактично недоступних для виробництва.

Конструкції також були надто складними. У них було багато деталей, кожна з яких розроблена фахівцями–інженерами, що призвело до величезних витрат на деталі та матеріали. Виготовлення деталей, а потім їх складання в

кінцеві продукти займало стільки часу, що цільова норма прибутку в затверджених бізнес-планах була пропущена або стерта. Напруга між машинобудуванням і виробництвом поступово почала зростати.

Керівництво почало звинувачувати виробництво в тому, що воно не встигає за попитом споживачів, тоді як справжня проблема полягала в тому, що інженерна служба не розробляла продукти для швидкого та прибуткового виробництва та складання. «Дизайн продукту був перекинутий через стіну від проектування до виробництва» стало мантрою майже в усіх компаніях.

До того часу, коли відділ проектування та виробництва вирішив проблеми з проектуванням, бюджет розробки був захмарний. Продукція запізнювалась порівняно із запланованим графіком. Фактична собівартість продукції значно перевищила заплановану собівартість продукції, що призвело до зниження запланованої норми прибутку. Що ще гірше, продукти часто не потрапляли на ринок і їх доводилося скасовувати.

Рішенням було запрошення групи професорів Массачусетського університету в Амгерсті, включаючи Коррадо Полі, Роберта Грейвса, Лоуренса Мерча та Джеффри Бутройда (Corrado Poli, Robert Graves, Laurence Murch, and Geoffrey Boothroyd) в середині 1960-х років. Вони не збиралися створювати DFMA. Вони були зосереджені на кращому дизайні продукту, який би швидше подавав деталі за допомогою найсучасніших роботизованих процесів подачі та складання деталей того часу. До 1970 року був опублікований довідник з подачі та орієнтування дрібних деталей.

Наступним кроком був пошук способу кодування цих частин за бажаними та небажаними характеристиками. Якби можна було розробити систему кодування, інженери могли б швидко посилатися на неї під час проектування деталей. Бутройд і його аспірант К. Хо опублікували свою систему кодування в 1976 році. Десятки запрошених вчених, аспірантів і студентів, а також студентів за обміном внесли свій внесок протягом багатьох років.

Поява DFA та DFM: їхнім першим продуктом DFA/DFM було програмне забезпечення Design for Automatic and Manual Assembly для Apple II Plus.

IBM і Digital Equipment виявила великий інтерес, що швидко призвело до фінансування версії для ПК і реєстрації компанії Boothroyd Dewhurst Inc. Модуль for-Manufacturing додається в 1985 році.

Провідні компанії, такі як GM і Ford, швидко усвідомили цінність DFA і DFM і використовували їх для щорічної економії мільярдів доларів. BDI швидко змінив бренд своєї інтелектуальної власності та своїх можливостей на DFMA. Обидва засновники отримали Національну медаль за технології від президента Джорджа Г.В. Буша (George H.W. Bush) в 1991 році. Сьогодні тисячі компаній у всьому світі практикують DFM і DFA, і багато хто використовує програмне забезпечення BDI, щоб допомогти застосувати їх.

Найбільшим внеском засновників BDI, як напише історія, було не створення програмного забезпечення. Це було щось більш глибоке, ніж може щодня використовувати будь-який дизайнер продукту, інженер чи фахівець з виробництва. Їхня концепція «теоретичної мінімальної кількості деталей» була революційною та змінила уявлення кожного у виробництві. Менше деталей для проєктування, складання та перевірки якості мало сенс. Менша кількість замовлень на зміну конструкції для виправлення допусків, щоб вузли щільно прилягали одна до одної, заощадить час. Менша кількість предметів, які потрібно придбати чи виготовити, обробляти та складати, заощадить гроші.

Теоретично мінімальна кількість рідко може бути досягнута; для цього є занадто багато компромісів щодо продуктивності. Але обговорення питання про те, чи потрібна кожна деталь і кріпильний елемент для відповідності заданим характеристикам продукту, – це обговорення, яке керівництво має хотіти проводити в розумних і ефективних компаніях.

Компанії, які зводять до мінімуму кількість частин, які необхідно зібрати в продукти, отримують нижчі витрати, менші запаси, менші витрати на обробку, зменшені потреби в обіговому капіталі, швидший час виходу на ринок і вищу маржу прибутку. Компанії, які також можуть знизити вартість виробництва кожної деталі за рахунок кращого вибору матеріалів,

вдосконалених стратегій інструментів і більш швидкого процесу виготовлення, отримують ще більше прибутку.

Так що таке дизайн для складання? DFA Design for assembly – це процес проєктування продукту, спрямований на спрощення конструкції продукту шляхом зменшення кількості його частин. Таким чином, це мінімізує вартість і збільшує легкість складання.

DFA, як економічно ефективний інструмент, допомагає командам розробників продукту, оскільки дозволяє вдосконалювати дизайн продукту перед фактичним виробництвом. Тому вони можуть більше зосередитися на функціональності продукту та простоті збирання. Менша кількість складальних частин у виробі означає, що виріб легше зібрати, потрібно менше часу, і це призводить до мінімізації витрат на складання.

Основною метою DFA є мінімізація витрат і зменшення складових частин продукту. Однак його застосування в дизайні продукції призвело до покращення якості та довговічності продукції та зменшення запасів деталей і виробничого обладнання.

13.3 Важливість дизайну для складання

Дизайн для складання (DFA) є одним із ключових підходів сучасного машинобудування, оскільки безпосередньо впливає на ефективність виробничих процесів. У сучасних умовах конкуренції компанії прагнуть виготовляти якісніші продукти з меншими витратами часу та ресурсів, і саме застосування принципів DFA дозволяє досягти цих цілей. Оптимізація конструкції забезпечує скорочення часу виробництва, зниження собівартості, підвищення надійності продукції та створює умови для автоматизації. У результаті підприємства отримують баланс між економічною доцільністю, високою якістю та інноваційністю виробів. Що він дає?

1. Скорочення часу виробництва. DFA забезпечує оптимізацію дизайну, усуваючи численні перегляди та зміни дизайну. Таким чином, це

- усуває затримки у виробництві, дозволяючи швидко виготовляти нові продукти.
2. Зниження витрат. DFA гарантує кращий дизайн продуктів за зниженою ціною. Це тому, що він використовує менше частин в дизайні продукту.
 3. Зниження витрати матеріалу. DFA усуває необхідність повторних випробувань під час виробництва. Таким чином, це зменшує відходи виробничих матеріалів.
 4. Більш надійні продукти. DFA гарантує більш надійну продукцію за рахунок зменшення кількості складальних частин, тим самим зменшуючи ймовірність поломки.
 5. Скорочення процесу розбирання. Хоча конструкція для складання спрямована на полегшення процесу складання, вона також скорочує процес розбирання. Це важливо, оскільки гарантує технічне обслуговування та ремонт виробів.
 6. Автоматизація. Конструкція для складання забезпечує автоматизацію виробничих процесів, оскільки деталі складання вирівнюються машинами або роботами. Ця функція самовирівнювання забезпечує швидке та просте виробництво.

У багатьох компаніях дизайн для виробництва та складання є важливою вимогою. Наприклад, деякі компанії хочуть знизити собівартість виробництва, тоді як інші хочуть виробляти більше, не залучаючи більше робочої сили. Мета деяких інших компаній також може полягати в тому, щоб спростити свій продукт і підвищити його надійність. Якими б не були різні вимоги цих компаній, конструкція для складання може бути застосовна в їхніх виробничих процесах і гарантувати бажані результати.

13.4 DFA та DFM

Відмінності між DFA та DFM. У сучасному машинобудуванні та суміжних галузях надзвичайно важливим є завдання постійного вдосконалення

конструкції виробів. Оптимізація може стосуватися як підвищення функціональності, так і зниження собівартості продукції, скорочення виробничих витрат або підвищення надійності та довговічності. Значну роль у цьому процесі відіграють два взаємопов'язані підходи: дизайн для складання (Design for Assembly, DFA) та дизайн для виробництва (Design for Manufacturing, DFM).

Обидві методології мають спільну стратегічну мету — створення такої конструкції продукту, яка забезпечує простоту виготовлення та мінімізує витрати виробничого циклу. Проте сфери їхнього застосування та головні акценти відрізняються.

Design for Assembly (DFA) — це методологія, спрямована на спрощення структури виробу за рахунок зменшення кількості його складових частин та мінімізації необхідних операцій складання. Основний акцент робиться на зручність і швидкість збирання, що дозволяє знизити трудомісткість та ймовірність дефектів.

Design for Manufacturing (DFM), у свою чергу, має на меті оптимізацію безпосереднього процесу виготовлення. У цьому випадку головна увага зосереджена на зниженні вартості виробництва, раціональному виборі технологій та матеріалів, а також на забезпеченні найвищої ефективності технологічних процесів.

Таким чином, DFA відповідає за конструктивну простоту та зручність складання, тоді як DFM орієнтований на економічну доцільність і технологічну оптимізацію виробництва.

Варто зазначити, що обидві методології рідко використовуються окремо. На практиці вони інтегруються у комплексний підхід DFMA (Design for Manufacturing and Assembly), який забезпечує одночасну оптимізацію і складання, і виготовлення виробу.

Найбільший ефект від використання DFA досягається тоді, коли його принципи закладаються вже на ранніх етапах конструкторської розробки. На стадії створення концепції важливо оцінювати не лише функціональні

характеристики виробу, а й простоту його складання. Ігнорування цього аспекту на початковому етапі часто призводить до значного ускладнення конструкції, збільшення собівартості та проблем у виробництві.

Методологія DFA виконує низку важливих завдань:

- раннє врахування складності складання. Дизайнер або команда проєктувальників отримують інструменти, які дозволяють ще на концептуальній стадії враховувати майбутні витрати часу та ресурсів на складання. Це знижує ризик надмірної концентрації лише на функціональності виробу без урахування його економічної ефективності;
- спрямування на спрощення конструкції. Методика мотивує розробників до мінімізації кількості деталей, раціонального поєднання функцій елементів та загального зменшення складності виробу. Це безпосередньо впливає на зменшення витрат як на виготовлення деталей, так і на їх складання;
- акумуляція досвіду. DFA дозволяє систематизувати знання досвідчених інженерів-проєктувальників і зробити їх доступними для молодших спеціалістів у зручній формі. Це значно підвищує якість розробки та скорочує час на ухвалення рішень;
- формування аналітичної бази. У процесі впровадження DFA створюється база даних із показниками часу складання та вартості для різних конструктивних рішень і виробничих умов. Така база стає важливим інструментом для ухвалення рішень у майбутньому;
- об'єктивність оцінки. Методика усуває елемент суб'єктивності в оцінюванні складності складання та дозволяє логічно порівнювати альтернативні проєктні рішення.

Практичні аспекти аналізу. Рівень складності складання виробу значною мірою залежить від того, який спосіб збирання планується застосовувати:

- ручне складання;

- автоматизація спеціального призначення (спеціалізовані конвеєри, автомати);
- автоматизація загального призначення (роботизовані комплекси);
- комбіновані методи.

Наприклад, критерії простоти автоматичного складання значно жорсткіші, ніж при ручному складанні, де деякі операції можуть виконуватися інтуїтивно й компенсувати недоліки конструкції. Проте навіть при впровадженні автоматизації завжди існують процеси, які доводиться виконувати вручну. Тому базовим орієнтиром для аналізу прийнято вважати вартість ручного складання, від якої відштовхуються під час порівняння альтернатив.

Впровадження принципів DFA у проектування забезпечує:

- скорочення часу і трудомісткості складання;
- зменшення кількості дефектів та підвищення надійності;
- зниження собівартості завдяки зменшенню кількості компонентів і технологічних операцій;
- покращення можливостей автоматизації виробничих процесів.

Таким чином, методологія DFA виступає не лише як допоміжний інструмент для конструкторів, а як системний підхід, що інтегрує технічні, економічні та організаційні аспекти створення нового продукту. Вона сприяє комплексному вдосконаленню виробу, роблячи його конкурентоспроможним на ринку та доступним у виробництві.

13.5 Загальні вказівки щодо проектування для ручного складання

У результаті багаторічного досвіду застосування методології DFA стало можливим сформулювати узагальнені рекомендації щодо проектування виробів. Вони спрямовані на консолідацію знань у сфері виробництва та подання їх конструкторам у вигляді системи простих і водночас ефективних правил, яких доцільно дотримуватися під час розробки нових виробів.

Процес ручного складання природно поділяється на дві основні складові:

- операції взяття деталей — отримання, орієнтування та переміщення окремих елементів у потрібне положення;
- операції складання та кріплення — безпосереднє з'єднання деталі з іншою деталлю або групою деталей у єдину конструкцію.

Рекомендації щодо дизайну для ручного складання, наведені нижче, безпосередньо стосуються кожної з цих двох сфер і мають на меті підвищення ефективності процесу, зменшення трудомісткості та ймовірності помилок [11].

13.6 Вказівки щодо проєктування деталей

Загалом, для забезпечення зручності та ефективності процесу складання деталей дизайнерові доцільно дотримуватися певних принципів проєктування, що істотно впливають на швидкість, точність і безпеку ручних операцій [11]. Ці рекомендації не лише спрощують роботу складальника, але й зменшують ризик виникнення помилок, сприяють підвищенню надійності кінцевого виробу та оптимізують витрати виробництва. Основні положення можна сформулювати таким чином:

- застосування наскрізної та обертальної симетрії. Деталі варто проєктувати так, щоб вони мали наскрізну симетрію або симетрію відносно осі. Це значно зменшує ймовірність помилок під час орієнтування та встановлення елементів у процесі складання. Якщо ж досягти повної симетрії неможливо, слід прагнути до максимальної можливої симетрії (див. рис. 13.3а). З точки зору економічності симетричні деталі скорочують час орієнтування і встановлення, зменшуючи тривалість складання. Оператору легше і швидше визначати правильне положення елемента, що знижує втому та кількість помилок. Симетрія мінімізує ризик некоректного монтажу, що підвищує стабільність та точність роботи механізму;

- чітке підкреслення асиметрії у разі її неминучості. У тих випадках, коли конструкція не може бути симетричною за своєю природою, деталь доцільно робити явно асиметричною. Це дозволяє операторові легко визначати правильне положення частини і зменшує ймовірність помилкового складання (див. рис. 13.3b). Чітка асиметрія зменшує потребу у додатковому контролі під час складання. Оператор легко ідентифікує правильне положення деталі, що усуває невизначеність і знижує ймовірність помилок. Конструкція стає захищеною від неправильного монтажу, що підвищує якість кінцевого виробу;
- запобігання застряганню під час штабелювання. Конструкція деталей має включати функціональні елементи, що перешкоджають їх взаємному заклинюванню під час зберігання в стопках або контейнерах. Такі рішення роблять процес підготовки до складання більш надійним і швидким (див. рис. 13.3c). Уникнення заклинювань зменшує час на підготовку деталей до складання. Робота складальника стає менш стомлюючою та безпечнішою. Збереження точності геометрії деталей під час зберігання попереджає їх пошкодження;
- уникнення небажаного взаємного з'єднання. Слід виключати можливість того, що деталі при зберіганні насипом можуть випадково вставлятися одна в одну або утворювати небажані комбінації. Подібні ситуації значно ускладнюють процес підготовки та збільшують час складання (див. рис. 13.3d). Відсутність потреби витратити фізичні зусилля на відділення частин полегшує роботу і зменшує стрес. Виключається ризик пошкодження тонких елементів при випадковому з'єднанні;
- вибір конструктивних рішень, що сприяють ергономіці та безпеці. Недоцільно проєктувати деталі, які мають властивість злипатися, є занадто слизькими, надмірно гнучкими, крихкими, дуже дрібними чи навпаки занадто великими. Крім того, потрібно уникати

конструкцій, що створюють небезпеку для оператора, зокрема деталей із гострими кроями, ламких або схильних до розколювання. Такі обмеження мають на меті мінімізувати виробничі ризики та підвищити безпечність робочого процесу (див. рис. 13.4). Складні у маніпулюванні, надто дрібні, слизькі чи гнучкі деталі збільшують втрати часу та потребують додаткових засобів контролю. Деталі з гострими кроями, крихкі чи занадто великі створюють ризики травмування або дискомфорту під час роботи. Такі частини схильні до пошкоджень, що знижує довговічність виробу та може призвести до відмов у роботі.

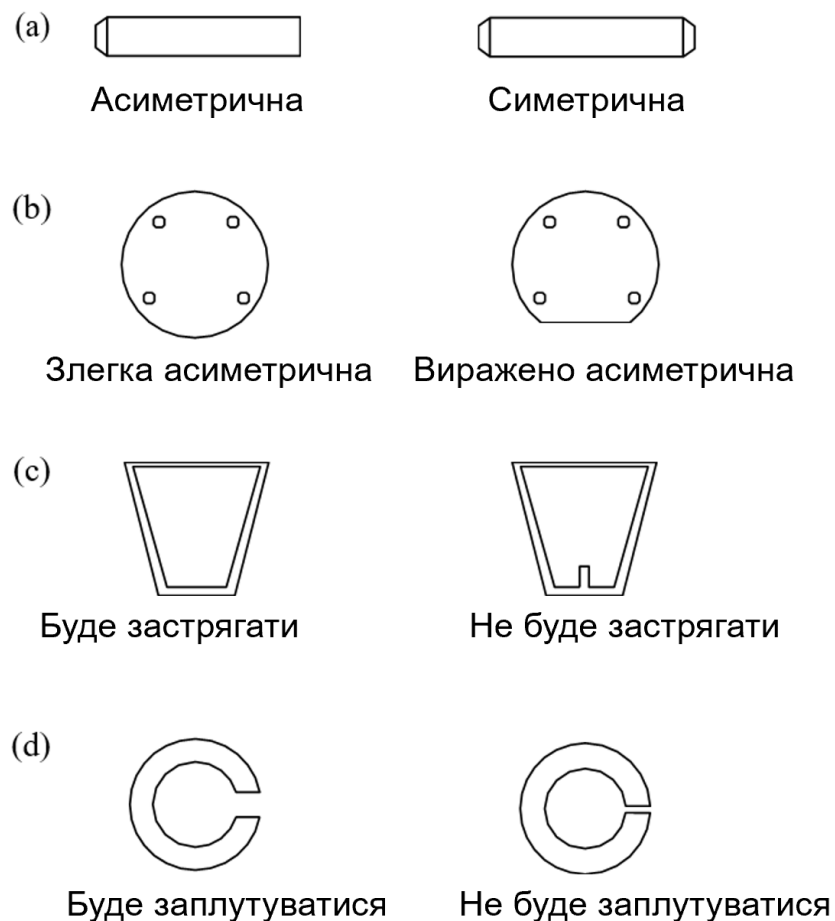


Рис. 13.3. Геометричні особливості, які впливають на взяття деталі рукою [11]



Рис. 13.4. Деякі інші особливості конструкції, які впливають на взяття деталі рукою [11]

Таким чином, дотримання зазначених правил під час розроблення деталей значно спрощує ручне складання, підвищує його ефективність і сприяє досягненню високої якості кінцевого продукту.

13.7 Інструкції з проєктування для складання та кріплення

У процесі конструювання виробів особливе значення має зручність та надійність складання. Від правильності закладених у конструкцію рішень залежить не лише швидкість і простота монтажу, а й довговічність експлуатації виробу. Тому під час проєктування доцільно дотримуватись певних принципів і рекомендацій [11].

1. Мінімізація опору під час складання. Конструкція повинна забезпечувати легкість з'єднання деталей. Для цього необхідно передбачати фаски на стикувальних поверхнях, що полегшує введення деталей у зачеплення. При проєктуванні слід забезпечити достатній зазор для вільного збирання, проте уникати надмірних проміжків, які можуть стати причиною заклинювання або перекосу елементів під час монтажу (див. рис. 13.5–13.9).

2. Стандартизація елементів і процесів. Використання уніфікованих деталей, стандартних технологічних процесів та методів у межах однієї конструкції та в різних лінійках виробів підвищує ефективність виробництва. Це дозволяє застосовувати масові технології, що знижує собівартість і спрощує технічне обслуговування готових виробів. До того ж, стандартизація зменшує номенклатуру запасних частин і підвищує взаємозамінність компонентів (див. рис. 13.3).

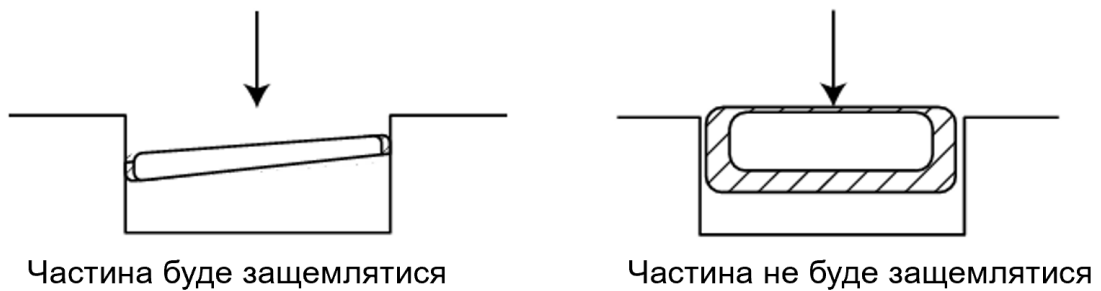


Рис. 13.5. Неправильна геометрія може сприяти защемленню деталі в процесі складання [11]

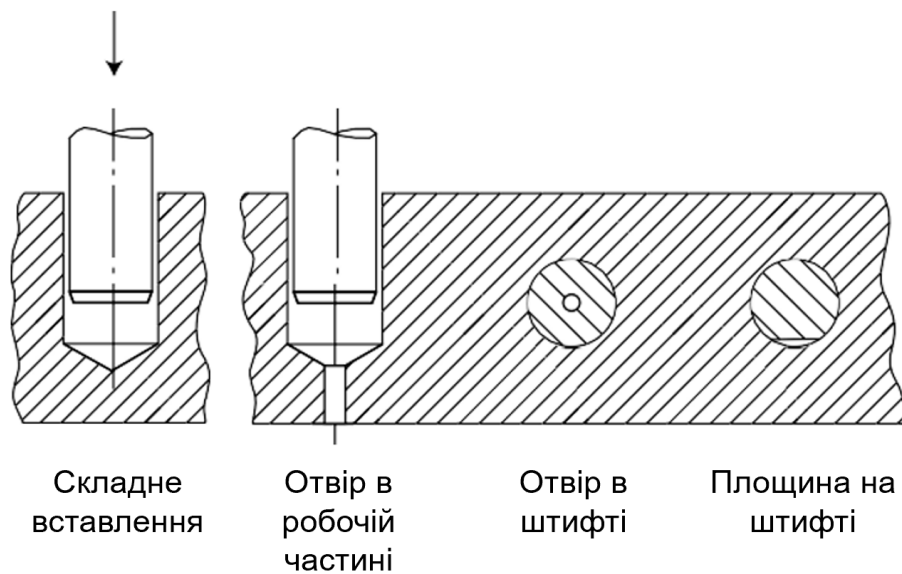


Рис. 13.6. Надання повітряних каналів для полегшення введення повітря в глухих отворах [11]

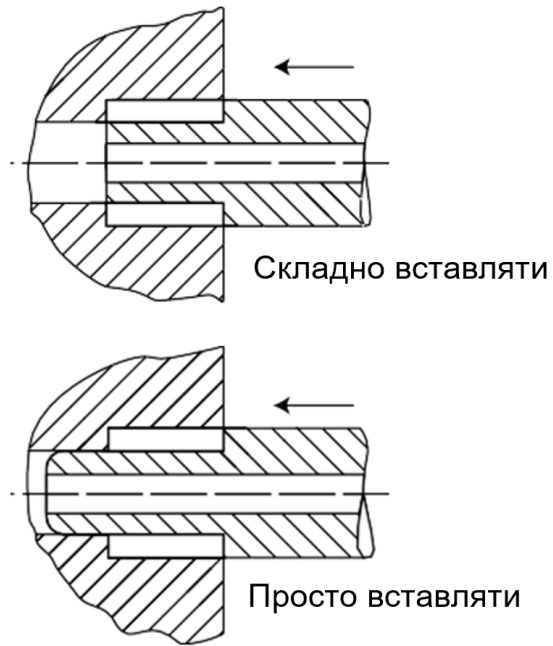


Рис. 13.7. Конструкція для зручності збирання – монтаж подовженої ступінчастої втулки в розточений отвір [11]

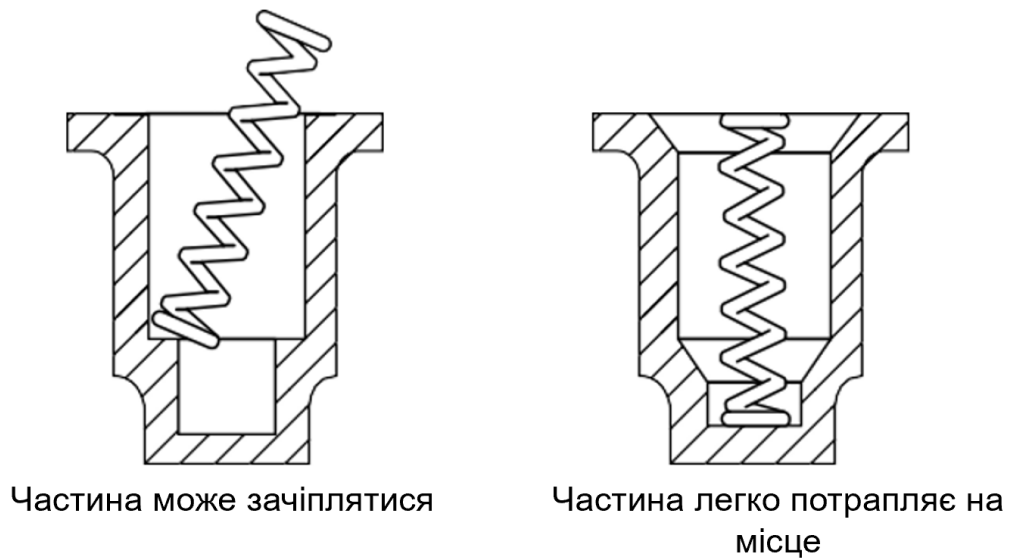


Рис. 13.8. Додавання фасок дозволяє покращити вставлення [11]

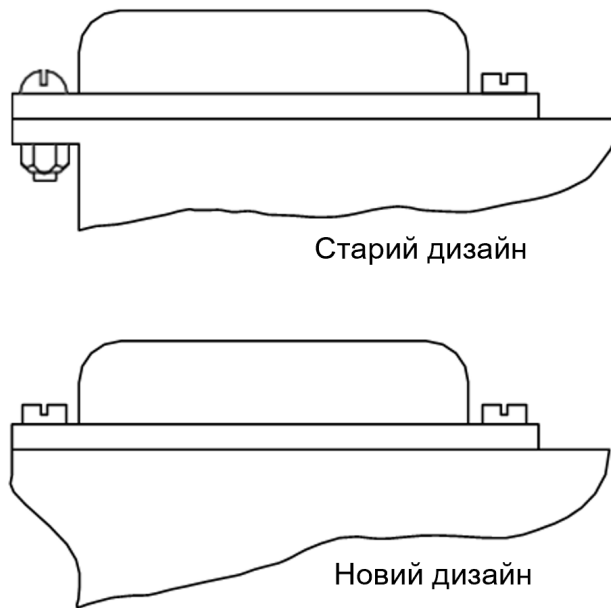


Рис. 13.9. Використовуйте стандартні частини [11]

3. Пірамідальний принцип складання. Доцільно застосовувати методику поступового складання деталей навколо однієї опорної осі, що дозволяє забезпечити правильне вирівнювання компонентів. Опора на єдину вісь зменшує ймовірність похибок при позиціонуванні та полегшує монтаж. Найчастіше оптимальним варіантом є складання зверху вниз, що забезпечує стабільність і передбачуваність процесу (див. рис. 13.10).

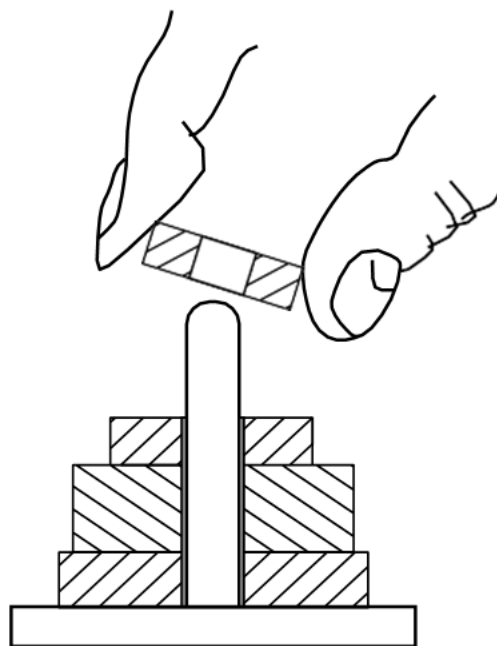


Рис. 13.10. Вертикальне пірамідальне складання [11]

4. Зменшення потреби у ручному утриманні деталей. У процесі проєктування необхідно уникати ситуацій, коли працівнику доводиться утримувати окремі елементи для збереження їхнього положення під час складання або приєднання наступних частин. Подібні випадки ускладнюють процес і збільшують ризик помилок чи травм. Якщо уникнути цього неможливо, конструкція повинна бути організована так, щоб деталь фіксувалася у потрібному положенні якомога швидше після її встановлення. Це зменшує навантаження на виконавця та підвищує безпеку й ефективність складання (див. рис. 13.11) [11].

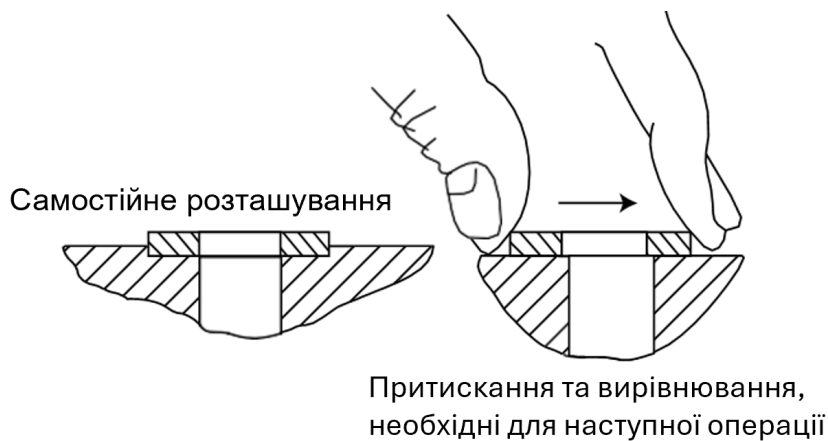


Рис. 13.11. Забезпечення функцій самоналаштування, щоб уникнути утримування та вирівнювання [11]

5. Забезпечення правильного положення деталі до моменту її звільнення. Під час проєктування складальних вузлів необхідно передбачити таке розташування деталей, щоб вони займали потрібне положення ще до того, як виконавець відпустить їх із рук. Це дає змогу уникнути зміщень, перекосів або помилкового позиціонування, які можуть ускладнити подальший монтаж. Потенційні труднощі виникають у тих випадках, коли через особливості конструкції деталь доводиться спершу тимчасово звільняти, а потім повторно орієнтувати для остаточного встановлення. Подібні ситуації значно знижують

ефективність процесу складання та можуть стати джерелом похибок чи додаткових витрат часу (див. рис. 13.12) [11].

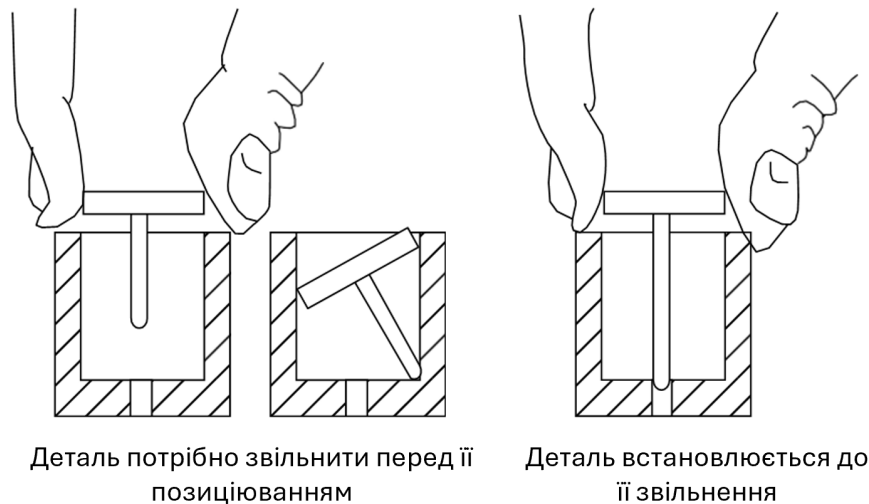


Рис. 13.12. Дизайн, що допомагає вставленню [11]

6. Вибір методів кріплення з урахуванням їхньої вартості та ефективності. У випадках, коли в конструкції застосовуються стандартні механічні кріпильні елементи, важливим є врахування економічної доцільності різних методів їх використання. Залежно від обраного способу вартість процесу ручного складання може суттєво відрізнятися. Як правило, послідовність методів кріплення у порядку зростання їхньої відносної вартості є такою (див. рис. 13.13) [11]:

- замикання, що є найпростішим і найдешевшим способом фіксації;
- пластичний згин, який вимагає дещо більше часу й зусиль, але забезпечує надійну фіксацію;
- клепка, що потребує додаткових інструментів і витрат, проте створює високоякісні нероз’ємні з’єднання;
- гвинтове кріплення, яке, незважаючи на зручність демонтажу та універсальність, є найдорожчим серед наведених методів через витрати часу на виконання та необхідність використання різьбових елементів.

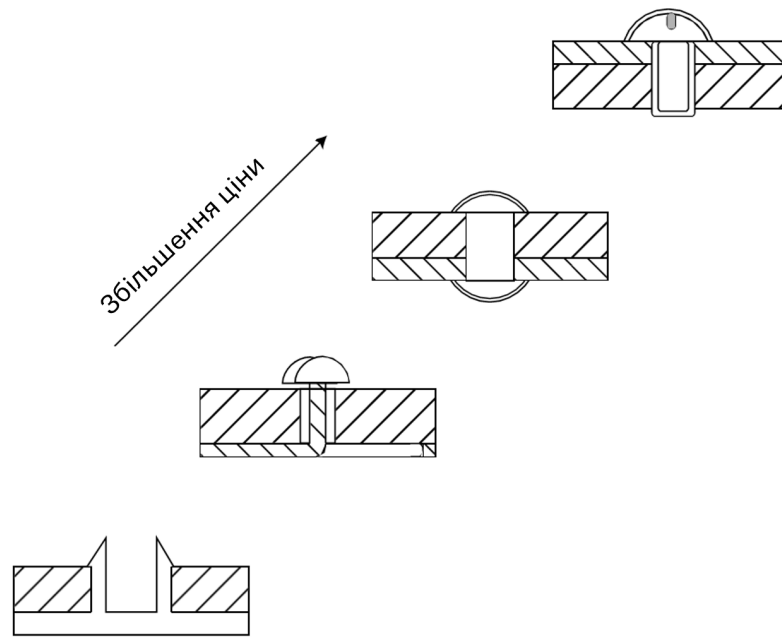


Рис. 13.13. Поширені методи замикання [11]

7. Уникнення перестановки частково завершеного складання. У процесі проєктування складальних операцій необхідно прагнути до того, щоб частково зібрані вузли не потребували повторного переміщення або перестановки у складальних пристроях. Подібні дії ускладнюють технологічний процес, призводять до збільшення часу складання, підвищують імовірність появи похибок під час фіксації та можуть спричинити пошкодження вже змонтованих елементів. Крім того, додаткові маніпуляції із виробом знижують ергономічність роботи і збільшують витрати на виробництво. Тому на етапі конструювання доцільно відразу передбачати таку послідовність складання, за якої кожна операція виконується без необхідності повторного переставлення виробу в пристрої (див. рис. 13.14) [11].

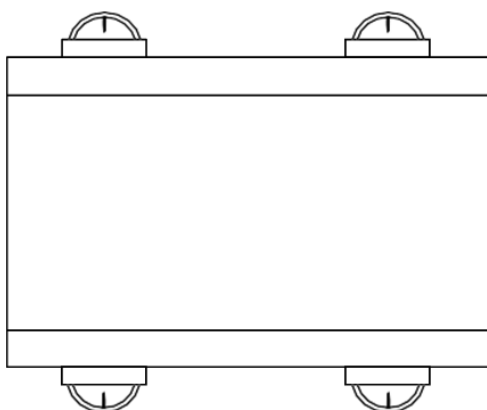


Рис. 13.14. Вставлення з протилежного напрямку вимагає зміни положення вузла [11]

Під час виконання DFA доцільно дотримуватися загальних правил. Однак самих лише рекомендацій недостатньо з кількох причин. По-перше, вони не передбачають засобів кількісної оцінки конструкції щодо простоти її складання. По-друге, не існує відносного ранжування всіх інструкцій, якими може скористатися конструктор, щоб визначити, які саме з них забезпечують найбільше покращення під час ручного складання (наприклад, під час взяття, вставлення та закріплення деталей). Також немає можливості кількісно оцінити ефект від удосконалення, пов'язаного з вилученням деталі або її модифікацією з метою спрощення складання тощо. Таким чином, конструктор не має достатніх підстав для визначення того, на які принципи слід спиратися під час розроблення продукту [11].

Нарешті, зазначені рекомендації є лише сукупністю правил, які, якщо розглядати їх у цілому, надають конструктору довідкову інформацію, корисну для створення виробу з більш простою технологією складання порівняно з конструкцією, спроектованою без урахування цих рекомендацій. Водночас потрібен підхід, що забезпечує організований метод проєктування, який стимулює створення виробів, зручних у складанні. Метод має також давати змогу оцінювати, наскільки легше зібрати одну конструкцію з певними характеристиками порівняно з іншою конструкцією з відмінними функціональними особливостями.

Запитання для самоконтролю

1. Яка основна проблема, з якою стикаються компанії–виробники під час виробництва продукції?
2. Як еволюція в процесі виробництва привела до концепції конструкції для складання (DFA)?
3. Коли і чому потреба в проєктуванні для виробництва та складання (DFMA) стала важливою?
4. Яким чином Фредерік Вінслоу Тейлор і Генрі Форд змінили підхід до виробництва на початку 1900–х років?
5. Як «теоретична мінімальна кількість деталей» змінила підхід до дизайну продуктів?
6. В чому полягає основна мета дизайну для складання (DFA)?
7. Як DFA допомагає скоротити витрати на виробництво і зменшити кількість складальних частин продукту?
8. У чому полягає відмінність між дизайном для складання (DFA) та дизайном для виробництва (DFM)?
9. Які переваги надає використання DFA в процесі розробки продукції?
10. Як методологія DFA допомагає в оптимізації процесу складання та виробництва на різних етапах проєктування?
11. Які рекомендації пропонує дизайнеру щодо забезпечення легкості вставки деталей під час складання, і які особливості конструкції можуть призвести до проблем?
12. Як стандартизація частин, процесів та методів у виробництві допомагає знижувати вартість продукту та спрощує складання?
13. Які основні переваги пірамідального складання і чому рекомендується здійснювати його зверху?
14. Які методи кріплення частин є найбільш економічними для ручного складання, згідно з текстом?

Лекція №14. КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО АВТОМАТИЧНОГО ТА РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Значення дизайну для автоматизованого складання порівняно з ручним;
- Вплив конструктивних недоліків на ефективність автоматизації;
- Економічні та технологічні переваги редизайну виробу для автоматизації;
- Принципи проектування виробу для автоматизації складання;
- Роль базової частини у високошвидкісному складанні;
- Особливості конструкції деталей для подачі та орієнтування;
- Типи гвинтів та їх вплив на автоматичне складання;
- Орієнтація та напрямок складання (шари, сендвічі, зверху вниз);
- Методи полегшення автоматичної подачі: фаски, конуси, симетрія, асиметрія;
- Правила проектування для високошвидкісного автоматичного складання.

Ключові слова: дизайн для автоматизації, автоматичне складання, високошвидкісне складання, базова частина, подача деталей, орієнтування деталей, фаски, конуси, симетрія, асиметрія, сендвічеве складання, гвинти, самоцентрування, редизайн виробу, оптимізація складання, ефективність виробництва, технологічний дизайн.

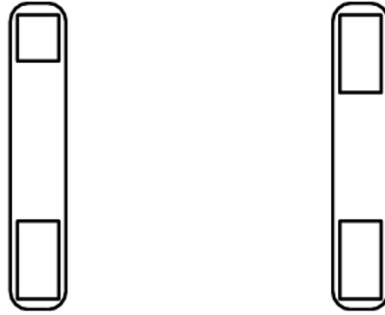
14.1 Дизайн виробу з урахуванням автоматизованого подання та орієнтації деталей

Незважаючи на те, що принципи конструювання з урахуванням складання є надзвичайно важливими для виробів, що монтуються вручну, їхне

значення ще більше зростає у випадках, коли продукт підлягає автоматичному складанню. У такому разі будь-які недоліки конструкції можуть спричинити значні ускладнення або навіть зробити автоматизацію економічно недоцільною. Простий приклад, наведений на рис. 14.1, це ілюструє [11]. Легко асиметрична шпилька з різьбленням зазвичай не створює суттєвих труднощів під час ручного складання, оскільки працівник може інтуїтивно зорієнтувати деталь у потрібному положенні. Однак для автоматизованого складання знадобиться складна та вартісна система розпізнавання, здатна визначати правильну орієнтацію шпильки. Якщо ж елемент було сконструйовано симетрично, то процес автоматизованого складання значно спростився би.

Отже, для економічної та ефективної автоматизації складання вирішальне значення має ретельний перегляд конструкції як виробу в цілому, так і його окремих компонентів. Фактично можна стверджувати, що одним із найбільших позитивних ефектів упровадження автоматизації є стимулювання удосконалення конструкції. Це дозволяє отримати подвійний результат: не лише зниження витрат за рахунок автоматизації, але й додаткову вигоду у вигляді покращеного, більш технологічного дизайну. Не дивно, що економія, досягнута внаслідок перепроєктування виробу, часто перевищує прямий ефект від автоматизації процесу.

Приклад, наведений на рис. 14.1, демонструє ще один важливий аспект. Основні труднощі при впровадженні автоматизованого складання, як правило, пов'язані не стільки з безпосереднім процесом установалення деталей у вузол, скільки з операціями автоматичного подавання, орієнтації та маніпуляції з ними. Як слушно зазначає один із практиків у цій галузі: «якщо з деталлю можна працювати автоматично, то зазвичай її можна й зібрати автоматично». Це підкреслює, що при розробці конструкції для автоматизації першочергова увага має приділятися таким характеристикам деталей, які забезпечують їх зручне подавання та однозначне орієнтування в системі автоматичного складання [11].



Асиметрична – складно
орієнтувати

Симетрична – просто
орієнтувати

Рис. 14.1. Зміна конструкції для спрощення автоматичної подачі та орієнтування [11]

Розглядаючи ручне складання, головним було прогнозування часу, необхідного для виконання різних завдань, таких як захоплення, орієнтування, вставлення та закріплення. Знаючи норму праці монтажника, ми могли б оцінити вартість складання. При автоматичному складанні час, витрачений на завершення складання, не впливає на вартість складання. Швидше, це швидкість, з якою збиральна машина або система функціонує, оскільки, якщо все працює належним чином, повне складання відбувається в кінці кожного циклу. Тоді, якщо відома загальна норма (вартість за одиницю часу) для машини чи системи та всіх операторів, вартість складання можна розрахувати після врахування часу простою. Таким чином, ми будемо в основному сконцентровані на вартості всього обладнання, кількості операторів і техніків, а також швидкості складання, з якою система розрахована на роботу. Однак, щоб ми могли визначити проблеми, пов'язані з окремими частинами, нам потрібно буде розподілити вартість складання продукту між окремими частинами та для кожної частини, також потрібно знати вартість подачі та орієнтування та вартість автоматичного складання [11].

14.2 Загальні правила проєктування виробу для автоматизації складання

Найбільш очевидним способом полегшення процесу складання ще на етапі проєктування є максимальне скорочення кількості різних деталей у

виробі. Ця тема вже розглядалася в попередньому розділі, присвяченому ручному складанню, де підкреслювалося, що спрощення конструктивної структури виробу може призвести до суттєвої економії як вартості складання, так і вартості самих деталей. При розробці дизайну продукту для автоматизації ця вимога набуває ще більшого значення, оскільки зменшення кількості окремих частин дозволяє значно скоротити складність автоматизованого процесу.

Наприклад, усунення однієї деталі може призвести до виключення цілої станції на складанні виробу за допомогою автоматизованої машини. Це включає видалення пристрою подачі деталей, спеціальної робочої головки та відповідного елемента пристрою передачі. Внаслідок цього значно зменшуються необхідні інвестиції та складність системи автоматизації, що робить економічний ефект від впровадження автоматизації більш відчутним [11].

Окрім загального спрощення продукту, автоматизація може бути значно полегшена шляхом введення спеціальних конструктивних елементів, таких як напрямні та фаски, які безпосередньо сприяють зручності складання. У своїх дослідженнях Baldwin S.P. наводить приклади таких рішень (рис. 14.2 і рис. 14.3) [11]. У цих прикладах усунені гострі кути та інші перешкоди, що дозволяє деталям легко орієнтуватися під час складання. В результаті зменшується необхідність у точному контролі позиціювання з боку автоматизованого пристрою, а в деяких випадках введення напрямних може повністю усунути потребу в окремому механізмі для орієнтації деталі.

Таким чином, у процесі проектування для автоматизації важливо враховувати не лише зменшення числа деталей, а й створення сприятливих геометричних умов для їхнього подавання, позиціювання та точного розташування в складаному вузлі. Ці принципи дозволяють одночасно підвищити ефективність автоматизованого складання та покращити конструктивні характеристики виробу [11].

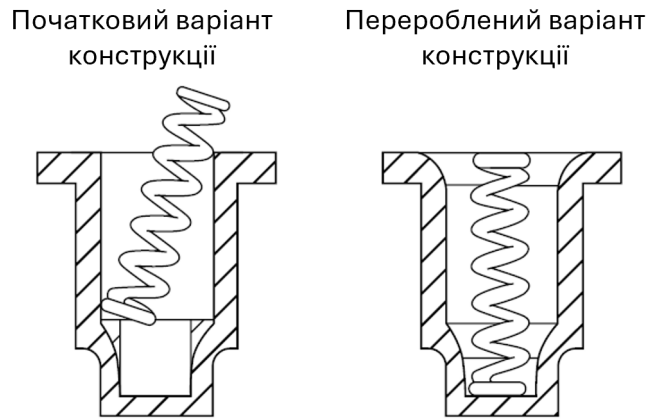


Рис. 14.2. Переробка частини для зручності складання. (Baldwin, S.P. *How to make sure of easy assembly*) [11]

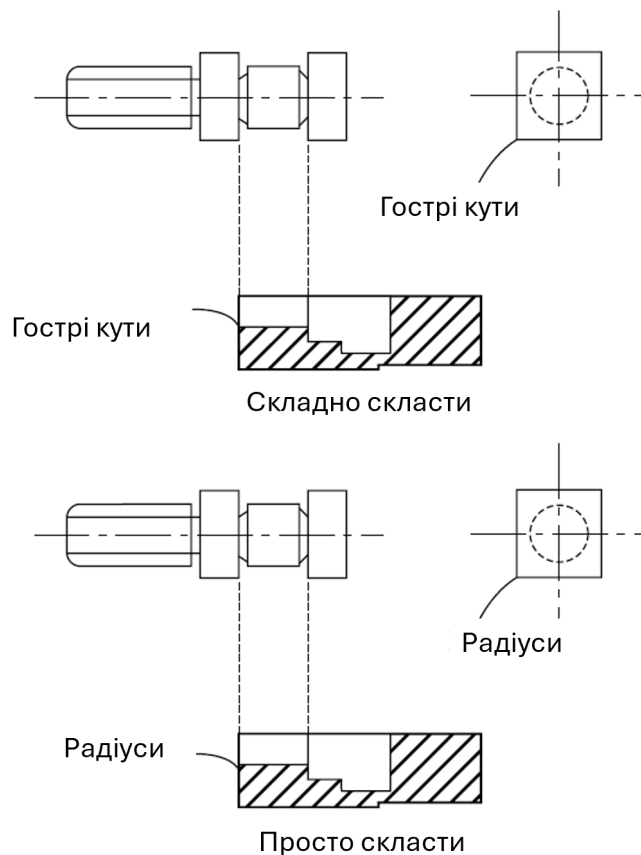


Рис. 14.3. Редизайн для полегшення складання. (Адаптовано з Tipping, W.V. *Component and Product Design for Mechanized Assembly*) [11]

Інші приклади в цій категорії можна знайти серед різноманітних типів гвинтів, що застосовуються в автоматизованому складанні. Важливим аспектом для автоматизації є здатність гвинтів правильно центрованими вставлятися у відповідні отвори без додаткового втручання або корекції. Гвинти, які забезпечують самоналаштування та центрування в отворі, демонструють найкращі результати під час автоматичного складання. Tipping [4] узагальнює та

класифікує доступні конструкції гвинтових деталей, виділяючи шість основних типів (рис. 14.4) [11]:

- Накатана різьба (приблизна форма після накочування) – характеризується дуже низькою точністю центрування; такі гвинти практично не здатні автоматично вставлятися у отвір без точного контролю зовнішнього діаметра. Вони створюють значні складнощі при автоматичному складанні та потребують додаткових пристроїв для корекції положення;
- Головка гвинта, форма якої наближена до фаски після накочування різьби – демонструє дещо кращу здатність до центрування порівняно з попереднім типом, за умови правильної геометрії. Проте її ефективність обмежена, і точне встановлення гвинта все ще може вимагати допоміжних пристроїв;
- Гвинт з фаскою на кінці – дозволяє більш ефективно спрямовувати гвинт у отвір, зменшуючи ймовірність помилок при автоматичному складанні. Такий тип конструкції підвищує надійність і швидкість процесу;
- Гвинт із стрижневим кінцем – також підходить для автоматизованого використання. Стрижневий кінець допомагає правильно орієнтувати гвинт у процесі вставлення, знижуючи потребу у додатковому контролі;
- Гвинт із конічним направляючим кінцем – демонструє високу ефективність для автоматичного складання. Конічна форма забезпечує природне центрування та легке спрямування в отвір, що значно полегшує роботу автоматичних пристроїв подачі та фіксації;
- Гвинт із овальним направляючим кінцем – також вважається оптимальним для застосування в автоматизованих системах. Овальна форма дозволяє гвинту самостійно орієнтуватися у відповідному положенні, зменшуючи ймовірність зупинок та помилок під час складання.

Таким чином, вибір конструкції гвинта є критично важливим фактором для підвищення ефективності автоматичного складання. Перевага надається формам, які забезпечують самоцентрування та плавне спрямування деталі в отвір, що дозволяє значно знизити складність та витрати на автоматизацію процесу [11].

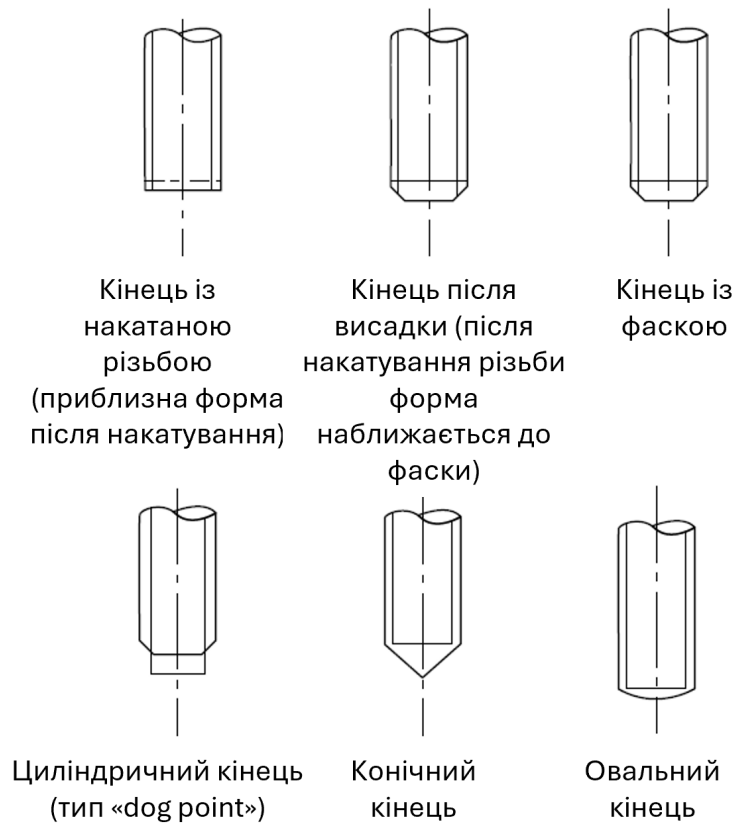


Рис. 14.4. Різні форми гвинтів. (Tipping, W.V. Component and Product Design for Mechanized Assembly) [11]

Tipping рекомендує для автоматизованого монтажу використовувати лише гвинти з конічним або овальним направляючим кінцем, оскільки вони забезпечують найвищу точність центрування та полегшують процес автоматичного складання [11]. Втім, у сучасній промисловій практиці перевагу часто надають гвинтам зі стрижневим кінцем, оскільки вони здатні самовирівнюватися після вставлення, що підвищує надійність автоматизованого процесу та зменшує ймовірність помилок.

Ще одним важливим аспектом, який необхідно враховувати при проектуванні виробів для автоматизації, є орієнтація та напрямок складання. Ідеальною є організація процесу так, щоб основна збірка виконувалася зверху вниз

або шляхом послідовного нашарування деталей у вигляді «сендвічів» чи шарів, де кожна нова частина розташовується поверх попередньої. Головна перевага цього підходу полягає в можливості використання сили гравітації для спрямування та утримання деталей під час складання. При цьому бажано, щоб робочі головки та пристрої подачі розташовувалися над станцією складання, забезпечуючи легкий доступ у разі виникнення несправностей, наприклад, через подачу дефектної деталі [11].

Складання зверху також дозволяє ефективно утримувати деталі у правильному положенні під час простою машини, коли динамічні сили в горизонтальній площині можуть зміщувати їх. За умови належної конструкції виробу та застосування самоцентруючих частин, сила тяжіння може бути достатньою для фіксації деталі до моменту її остаточного встановлення та закріплення.

Якщо реалізація складання зверху є неможливою, доцільно розділити процес на підвузли. Наприклад, на рис. 14.5 показано британську штепсельну вилку у розгорнутому вигляді. Під час складання цього виробу досить складно одночасно встановити та закрутити два гвинти для фіксації шнура знизу. Проте решту вузла, крім основного кріпильного гвинта, можна зручно встановити зверху. У цьому випадку два гвинти, затискач шнура та основа штекера розглядаються як окремий підвузол, який збирається окремо та потім інтегрується у головну збірку виробу. Такий підхід значно спрощує процес складання та підвищує його ефективність [11].

При автоматизованому складанні надзвичайно важливо наявність базової частини, яка слугує основою для побудови всієї збірки. Ця базова частина повинна мати чітко визначені характеристики, що забезпечують її швидке, точне та стабільне розташування на робочому носії або монтажній платформі. Від правильності вибору та конструювання базової деталі залежить точність усього процесу складання, а також ефективність роботи автоматичних пристроїв подачі та утримання.

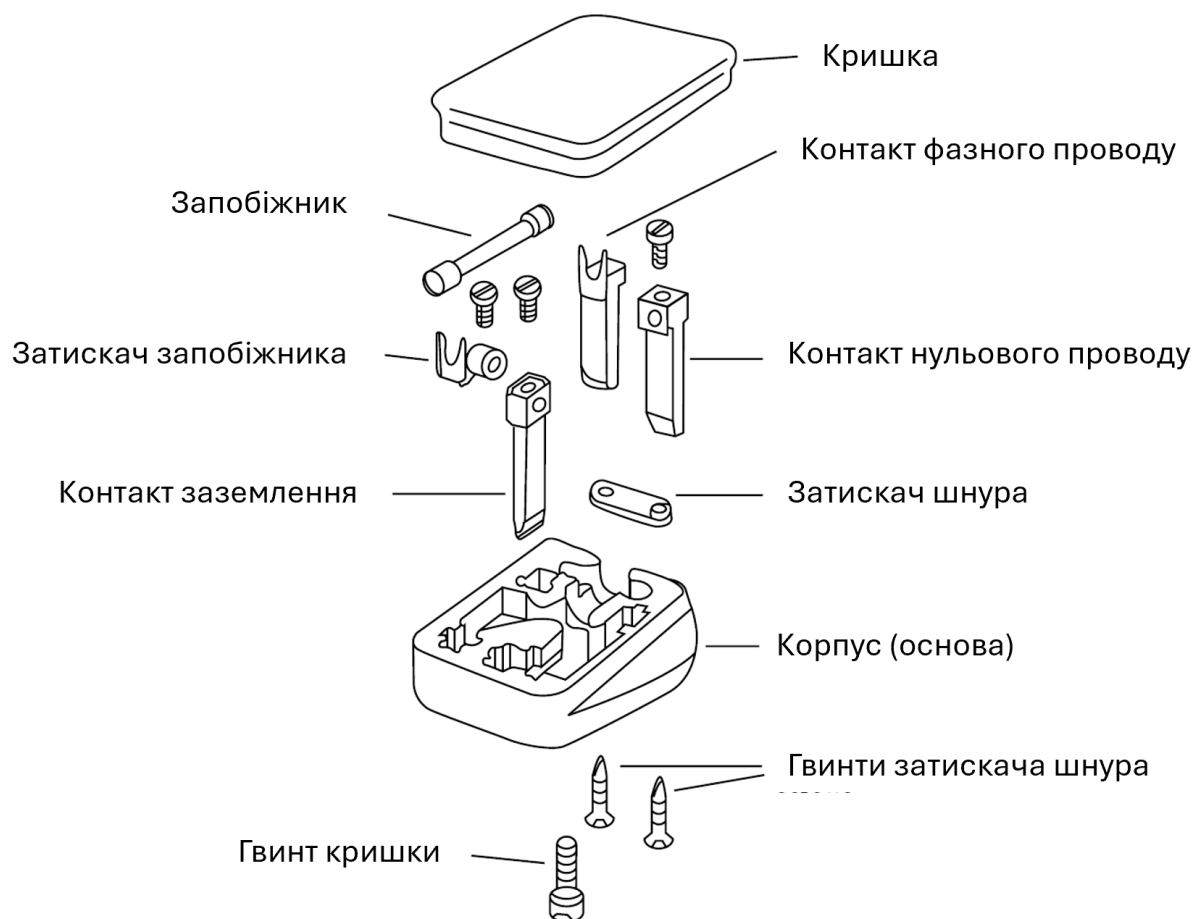


Рис. 14.5. Монтаж триконтактної вилки [11]

На рис. 14.6а показана базова частина, для якої було б складно розробити надійний робочий утримувач. У разі прикладання сили в точці А деталь може обертатися або зміщуватися, якщо відсутнє адекватне затискання чи фіксація. Така нестабільність може спричинити помилки при складанні та знизити точність автоматизованого процесу.

Одним із ефективних методів забезпечення стабільності базової частини є оптимальне розташування її центру ваги на плоских горизонтальних поверхнях. Крім того, додаткові конструктивні елементи, такі як невеликі виступи або оброблені площини, дозволяють спроектувати простий і водночас надійний робочий утримувач. Приклад такого рішення наведено на рис. 14.6б, де демонструється, як невеликий виступ деталі забезпечує ефективне фіксування та полегшує процес автоматичного складання [11].

Таким чином, під час проектування виробів для автоматизованого складання важливо передбачати конструктивні елементи базових частин, які

забезпечують їх стабільність і полегшують взаємодію з автоматичними пристроями. Це сприяє підвищенню точності, зменшенню часу на складання та підвищенню надійності всього виробу.

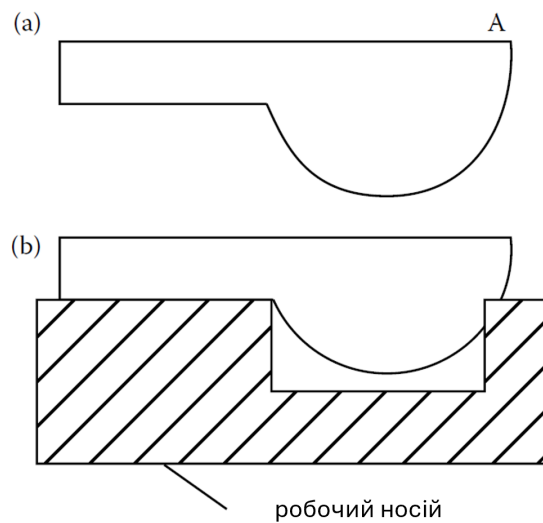


Рис. 14.6. Конструкція базової частини для монтажу на робочий носій [11]

Розташування базової частини в горизонтальній площині часто досягається дюбельними штифтами, вмонтованими в робочий утримувач. Щоб спростити монтаж базової частини на робочому утримувачі, штифти можна зробити конусоподібними, щоб забезпечити напрямок, як у прикладі, показаному на рис. 14.7 [11].

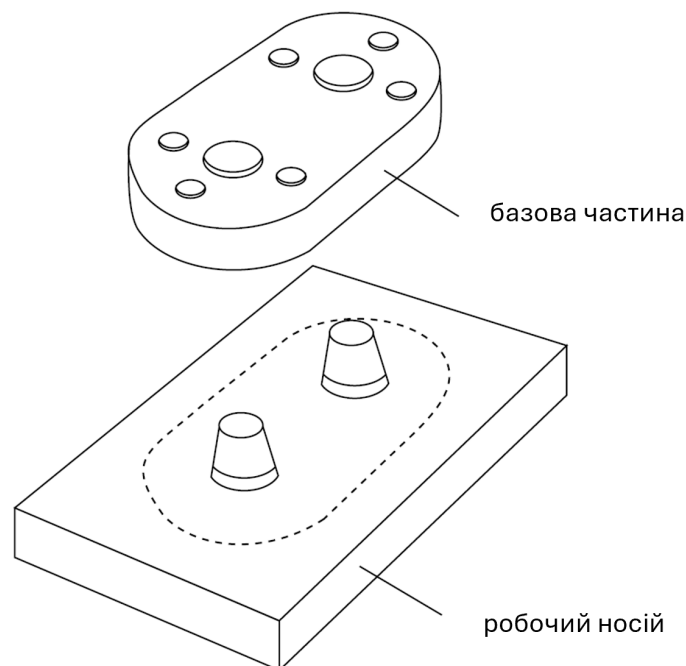


Рис. 14.7. Використання конічних штифтів для полегшення складання [11]

14.3 Конструкція деталей для подачі та орієнтування

У сучасних системах автоматичного складання застосовують широкий спектр пристроїв для подачі деталей. Проте більшість цих механізмів придатні для роботи лише з обмеженим діапазоном форм і розмірів компонентів, що знижує їх універсальність та робить їх менш значущими при розгляді конструкцій деталей, призначених для подачі та орієнтування.

Найбільш універсальним і широко застосовуваним пристроєм є вібраційний подавач із чашею, який забезпечує стабільну та контрольовану подачу деталей у процесі автоматичного складання. Цей тип подавача дозволяє здійснювати ефективну орієнтацію деталей незалежно від їхньої первісної позиції, що значно спрощує процес автоматизації.

Наступний розділ зосереджено на конструктивних аспектах деталей, які полегшують їх подачу та точне орієнтування у вібраційних подавачах. При цьому особлива увага приділяється таким елементам, як фаски, напрямні поверхні та симетричні форми, які забезпечують безперешкодну взаємодію деталей із пристроєм подачі і мінімізують ризик затримок або помилок у процесі складання (рис. 14.8) [11].

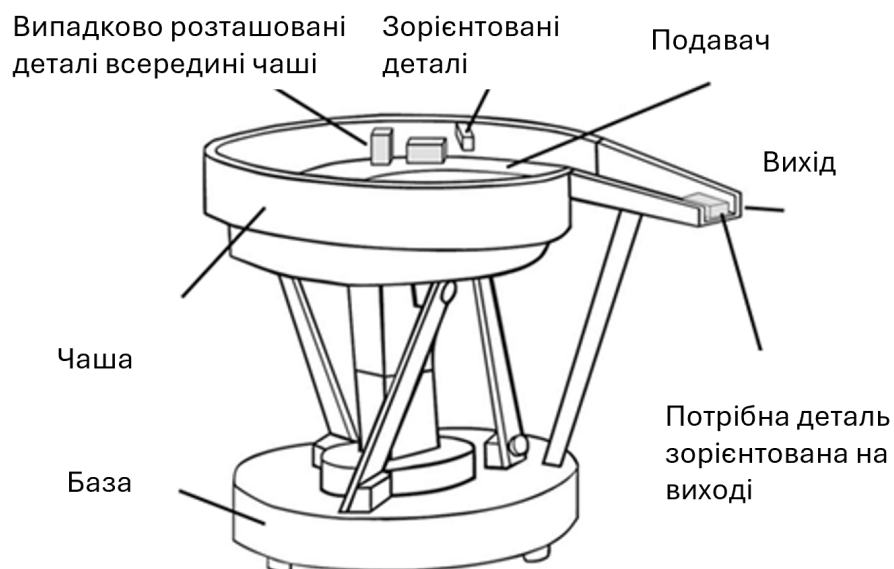


Рис. 14.8. Вібраційний подавач з чашею

Багато з наведених зауважень мають універсальне значення і застосовуються не лише до вібраційних подавачів, а й до інших механізмів

подачі деталей в автоматичних системах складання. Для забезпечення надійної подачі та точного орієнтування компонентів у таких пристроях можна виділити три основні принципи проєктування деталей [11]:

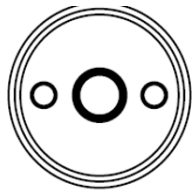
- Уникайте проєктування частин, які можуть заплутуватися, зчіплюватися або блокуватися. Деталі, які легко гніздуються одна в одну або застрягають при взаємодії, створюють суттєві проблеми при автоматичній подачі. В результаті їх відокремлення, орієнтація та подача можуть стати майже неможливими без додаткових механізмів або контролю. Часто навіть невелика нефункціональна зміна форми деталі здатна запобігти цьому ефекту;
- Зробіть деталі симетричними. Симетричні деталі суттєво спрощують процес автоматичної подачі та орієнтації. Завдяки симетрії деталь може легко вставлятися в потрібну позицію незалежно від первісної орієнтації, що зменшує ймовірність помилок та підвищує продуктивність системи;
- Якщо частини неможливо зробити симетричними, уникайте легкої асиметрії або асиметрії, спричиненої дрібними або негеометричними елементами. Дрібні нерівності, фаски або декоративні елементи можуть створювати приховану асиметрію, яка ускладнює автоматичне орієнтування. Ретельне продумування форми таких деталей дозволяє мінімізувати ймовірність зупинок у процесі подачі.

Якщо деталі мають тенденцію до сплутування або гніздування під час зберігання насипом, їх автоматичне сортування та орієнтація стає дуже складним завданням. Часто досить невеликої функціональної або нефункціональної модифікації конструкції, щоб усунути ці проблеми. На рис. 14.9 наведено кілька простих прикладів змін у конструкції деталей, які значно полегшують їх автоматичну подачу та орієнтування [11].

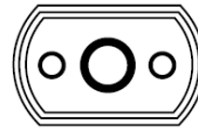


Рис. 14.9. Приклади редизайну для запобігання вкладеності або заплутування. (Iredale, R. *Metalwork Production.*)[11]

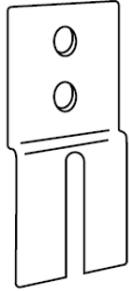
Хоча асиметричні характеристики деталі іноді можуть бути перебільшені для полегшення її орієнтації, альтернативним підходом є навмисне додавання спеціальних асиметричних елементів саме для забезпечення правильного позиціонування. Такий підхід є більш поширеним у промисловій практиці. Приклади навмисного введення орієнтуючих елементів наведено Iredale [11] та відтворено на рис. 14.10. У кожному випадку функціональні елементи деталі, які потребують точного вирівнювання, важко інтегрувати в стандартний орієнтуючий пристрій; тому відповідні зовнішні особливості додаються спеціально, щоб полегшити автоматичну подачу та точне розташування деталі [11].



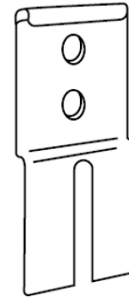
Важко зорієнтувати відносно малих отворів



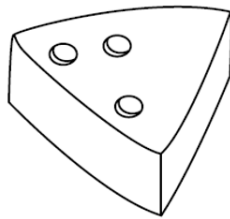
Плоскі бокові грані значно полегшують орієнтацію відносно малих отворів



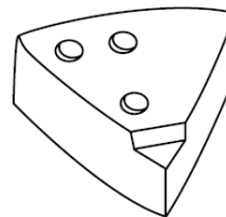
Немає достатньо вираженої ознаки для орієнтації



При правильній орієнтації деталь утримується на напрямній



Трикутна форма деталі ускладнює автоматичну орієнтацію отворів



Неконструктивне (допоміжне) потовщення забезпечує правильну орієнтацію деталі у вібраційному подавачі та під час транспортування напрямними рейками

Рис. 14.10. Надання асиметричних функцій для допомоги в орієнтації. (Iredale, R. Metalwork Production.) [11]

У системі кодування, деталі з високим ступенем симетрії отримують коди, що позначають їх як елементи, якими легко керувати. Водночас існує широкий спектр кодів для частин, які, ймовірно, будуть складнішими для автоматичної подачі. Якщо такі проблеми не враховуються на етапі проектування, вони створюють додаткові труднощі для дизайнерів і конструкторів [11].

На рис. 14.11а показана деталь, обробка якої автоматично була б складною. Натомість на рис. 14.11б представлена модифікована версія тієї самої

деталі, яку можна подавати та орієнтувати у вібраційному механізмі з чашею на високій швидкості. Ця незначна зміна конструкції дозволяє значно підвищити ефективність автоматичної обробки. Важливо зазначити, що без застосування системи кодування дизайнера могло б не спасти на думку, що оригінальна деталь буде важкою для автоматичного керування [11].

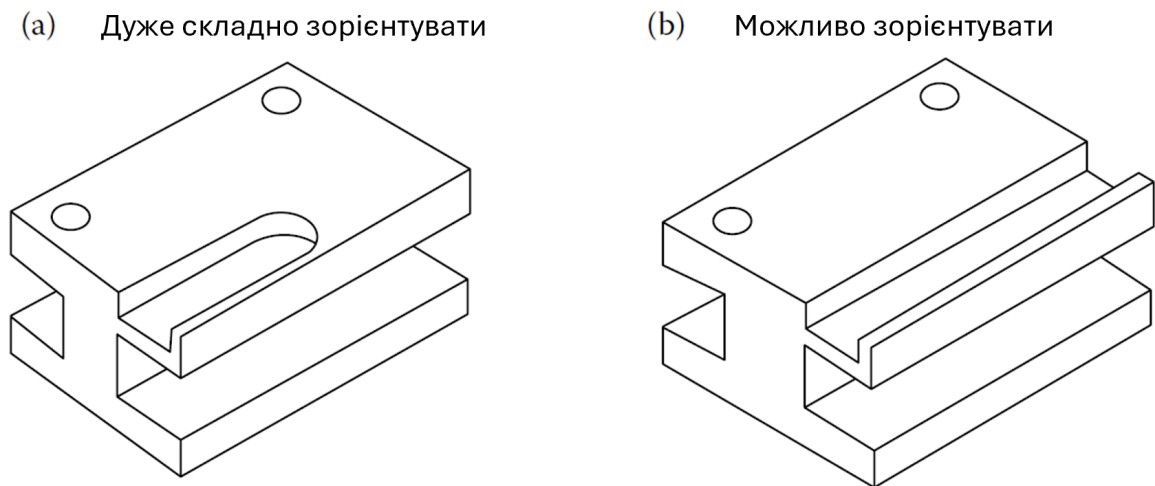


Рис. 14.11. Приклад зміни дизайну для спрощення подачі та орієнтування [11]

Слід підкреслити, що, хоча обговорення стосувалося автоматичної подачі деталей, деталі, спроектовані для легкого автоматичного оброблення, також значно полегшують ручну збірку. Зменшення часу, необхідного монтажнику для визначення орієнтації деталі та її корекції, забезпечує відчутну економію ресурсів та підвищує продуктивність процесу складання [11].

Зрозуміло, що з деякими частинами неможливо було б внести зміни в конструкцію, щоб вони могли працювати автоматично: наприклад, дуже маленькі деталі або складні форми, сформовані з тонких смужок, важко подавати в автоматичному середовищі. У цих випадках іноді можна виготовити деталі на складальному верстаті або відокремити їх від смуги в момент складання. Такі операції, як намотування пружини або виготовлення тонких секцій, успішно застосовувалися на складальних машинах у минулому [11].

14.4 Правила проєктування для високошвидкісного автоматичного складання

У цьому розділі підсумовані ключові моменти, обговорені в попередніх підрозділах щодо конструкції деталей і виробів для автоматичного складання. Вони представлені у вигляді чітких рекомендацій для дизайнерів і конструкторів, що дозволяють оптимізувати процес складання та підвищити ефективність автоматичних систем [11].

Загальні правила дизайну виробу [11]:

1. Мінімізуйте кількість деталей. Зменшення числа окремих елементів виробу зменшує складність складання, скорочує час на маніпуляції та знижує витрати на виробництво і утримання обладнання для автоматичного складання.
2. Наявність базової частини для побудови вузла. Виріб повинен мати основну деталь, яка забезпечує орієнтоване та стабільне розташування всіх інших компонентів у вузлі.
3. Функції базової частини для легкого позиціонування. Базова частина повинна мати геометричні та конструктивні особливості, що дозволяють точно і швидко встановити її на робочому носії та забезпечують стабільність у горизонтальній площині.
4. Складання шарами (сендвічеве). По можливості, виріб слід проєктувати так, щоб його можна було збирати послідовно, шар за шаром, зверху вниз. Кожна деталь повинна утримуватися в правильному положенні, запобігаючи зміщенню під дією горизонтальних сил у періоди простою машини.
5. Полегшення орієнтації за допомогою фасок і конусів. Використання фасок, конусів та інших орієнтуючих елементів допомагає направляти деталі у правильне положення, зменшуючи потребу в ручному контролі та підвищуючи швидкість складання.

6. Уникнення дорогих і трудомістких операцій кріплення. При проектуванні слід мінімізувати застосування операцій, таких як закручування гвинтів, паяння або клепаання, які значно уповільнюють процес складання і підвищують його вартість.

Правила проектування окремих деталей [11]:

1. Запобігання сплутування частин. Уникайте виступів, отворів або прорізів, які можуть викликати застрягання або сплутування деталей при подачі через автоматичні механізми. Розташовуйте отвори і прорізи так, щоб вони були меншими за виступи або інших опорні елементи, що дозволяє уникати застрягання.
2. Симетричність деталей. За можливості, деталі слід робити симетричними, що дозволяє спростити їх орієнтування в автоматичних пристроях і зменшує потребу у використанні спеціальних орієнтуючих механізмів.
3. Асиметричні елементи для орієнтації. Якщо досягти симетрії неможливо, слід або навмисно перебільшувати асиметричні характеристики для полегшення орієнтування, або передбачати спеціальні асиметричні особливості, які можна використовувати для автоматичного позиціонування деталей.

Запитання для самоконтролю

1. Яким чином конструкція деталі впливає на процес автоматичного складання?
2. Як зміна симетрії деталі може спростити автоматичне складання?
3. Як можна оцінити вартість автоматичного складання?
4. Чому важливим є ефективність подачі та орієнтування деталей для автоматизації?
5. Як впливає швидкість подачі деталей на вартість автоматичної подачі?
6. Які фактори впливають на максимальну швидкість подачі деталей в автоматизованій системі?
7. Чому деталі з великими розмірами зазвичай не підходять для економічної автоматичної подачі?
8. Як класифікація деталей за їх формою та симетрією допомагає визначити ефективність автоматичної подачі?
9. Як визначається вартість автоматичного складання та які фактори на це впливають?
10. Які основні фактори визначають ефективність автоматизації складання залежно від об'єму випуску виробів?
11. Які основні принципи дизайну допомагають полегшити подачу та орієнтацію деталей у вібраційному подавачі з чашею?
12. Як зміни в конструкції деталей можуть сприяти їх ефективнішому автоматичному обробленню та орієнтації?
13. Які правила проєктування частин слід враховувати, щоб уникнути проблем зі сплутуванням або гніздуванням деталей в механізмах подачі?

Лекція №15. КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ

Основні питання, що розглядаються на лекції:

- Поняття та особливості роботизованого складання у виробничих системах;
- Переваги та відмінності роботизованого складання від традиційного та автоматизованого;
- Структура роботизованого складального комплексу (РТК) та її елементи;
- Перспективні напрями розвитку роботизації складання: модульні та навчальні роботи;
- Типи систем роботизованого складання: одностанційні, багатостанційні, з робочими головками спеціального призначення;
- Особливості проектування виробів для роботизованих систем складання;
- Забезпечення зручності подачі та орієнтації деталей у роботизованих системах.

Ключові слова: роботизоване складання, промислові роботи, автоматизація, одностанційна система, багатостанційна система, робочі головки спеціального призначення, модульні роботи, навчальні роботи, циклограми, мінімізація деталей, самоорієнтація, самофіксація, зручність подачі, економічна ефективність.

15.1 Роботизоване складання у виробничих системах

Роботизоване складання є одним із провідних напрямів розвитку сучасного машинобудівного виробництва, орієнтованого на концепцію Індустрії 4.0. Воно передбачає комплексну автоматизацію процесів з'єднання деталей

у виробі за допомогою промислових роботів, оснащених інтелектуальними системами керування, сенсорами та технічним зором. Впровадження роботизованих систем складання сприяє підвищенню точності, стабільності технологічних операцій і забезпечує можливість роботи в умовах, небезпечних або важкодоступних для людини.

Ключовою відмінністю роботизованого виробництва від традиційних або автоматизованих систем є повна заміна ручної праці складальників спеціалізованими складальними роботами, а також застосування контрольних роботів або автоматичних вимірювально-контрольних пристроїв для забезпечення високої точності та стабільності якості продукції.

Роботизоване складання — це сукупність технологічних, апаратних і програмних засобів, призначених для виконання операцій складання з мінімальною або повністю виключеною участю людини. На відміну від традиційного автоматизованого складання, роботизовані системи відзначаються вищим рівнем гнучкості, адаптивності до зміни номенклатури виробів і здатністю до самодіагностики.

До основних переваг таких систем належать:

- стабільність якості продукції та відтворюваність операцій;
- підвищення ефективності праці й зниження впливу людського фактора;
- можливість роботи у шкідливих, вибухонебезпечних або стерильних умовах;
- скорочення тривалості виробничого циклу.

На відміну від автоматизованого складання, яке може виконуватися за принципом повної або часткової взаємозамінності з можливістю використання селективного складання, контрольно-сортувальних автоматів та методів припасування і регулювання, у роботизованому складанні допускається лише повна або, у виняткових випадках, групова взаємозамінність. Будь-які процеси ручного доопрацювання, підгонки чи коригування положення деталей виключаються. У цьому контексті особливо важливим є суворе

дотримання принципів вибору та постійності баз, що безпосередньо впливають на точність складання, надійність роботи робототехнічних комплексів (РТК) і загальну якість кінцевого виробу.

Основні етапи автоматизованого складання наступні:

1. Автоматична орієнтація деталей і вузлів виробу для забезпечення можливості їх захоплення транспортно-захватними пристроями; виконання попереднього контролю й очищення поверхонь.
2. Автоматичне формування з'єднань згідно з технологічною послідовністю складання.
3. Транспортування деталей, підвузлів і вузлів між операціями.
4. Міжопераційний контроль, що забезпечує своєчасне виявлення відхилень.
5. Остаточний контроль якості зібраного виробу.
6. Автоматизоване пакування готової продукції.

Процес складання повинен відбуватися від простого до складного — тобто з'єднання окремих деталей у підвузли, далі у вузли, агрегати та, зрештою, у готовий виріб. Така послідовність відображається у схемах технологічного складання та забезпечує логічну структурування виробничого процесу.

Вибір організаційної форми складання залежить від габаритів і складності конструкції виробу:

- Стаціонарна форма передбачає нерухоме положення базового виробу, до якого підводяться деталі й вузли;
- Конвеєрна форма забезпечує переміщення виробу вздовж лінії, де складальні роботи виконують операції з різними положеннями та допусками на позиціонування.

Структура роботизованого складального комплексу. До складу робототехнічного комплексу (РТК) входять:

- спеціалізоване складальне обладнання та пристрої;
- транспортно-завантажувальні системи;
- операційні складальні роботи;

- контрольні роботи;
- ієрархічна система керування різних рівнів.

Елементи комплексу розташовуються у суворо визначеній технологічній послідовності, що забезпечує безперервність виробничого циклу. Визначення структури та складу РТК здійснюється на основі оптимізації загальної та вузлової схеми складання.

Під час розроблення технологічного процесу складання (ТПС) у складі РТК перевага надається високій концентрації операцій, що вимагає точного підбору типів роботів, визначення їх функцій, точності, швидкодії та координованості. Важливим етапом є встановлення часових зв'язків між окремими елементами комплексу, адже саме вони визначають загальну продуктивність і синхронність дії системи.

Для цього розробляються циклограми як для окремих роботизованих робочих місць, так і для всього комплексу в цілому. На основі циклограм та операційної технології формується керуюча програма для складальних роботів із числовим програмним керуванням (ЧПК) і системи управління РТК загалом.

15.2 Перспективні напрями розвитку

Сучасні тенденції у сфері роботизації складання пов'язані з використанням промислових роботів (ПР), створених за блоково-модульним принципом, а також із впровадженням навчальних роботів (адаптивних систем) (рис. 15.1).

У модульні системи ПР зазвичай входять модулі лінійних та кутових переміщень, набори перехідних елементів для їх з'єднання, а також змінні захватні пристрої, що дозволяють виконувати різноманітні технологічні операції. Уніфікація модулів дає змогу розширити номенклатуру модифікацій роботів, знизити вартість автоматизації складального виробництва та підвищити його гнучкість.

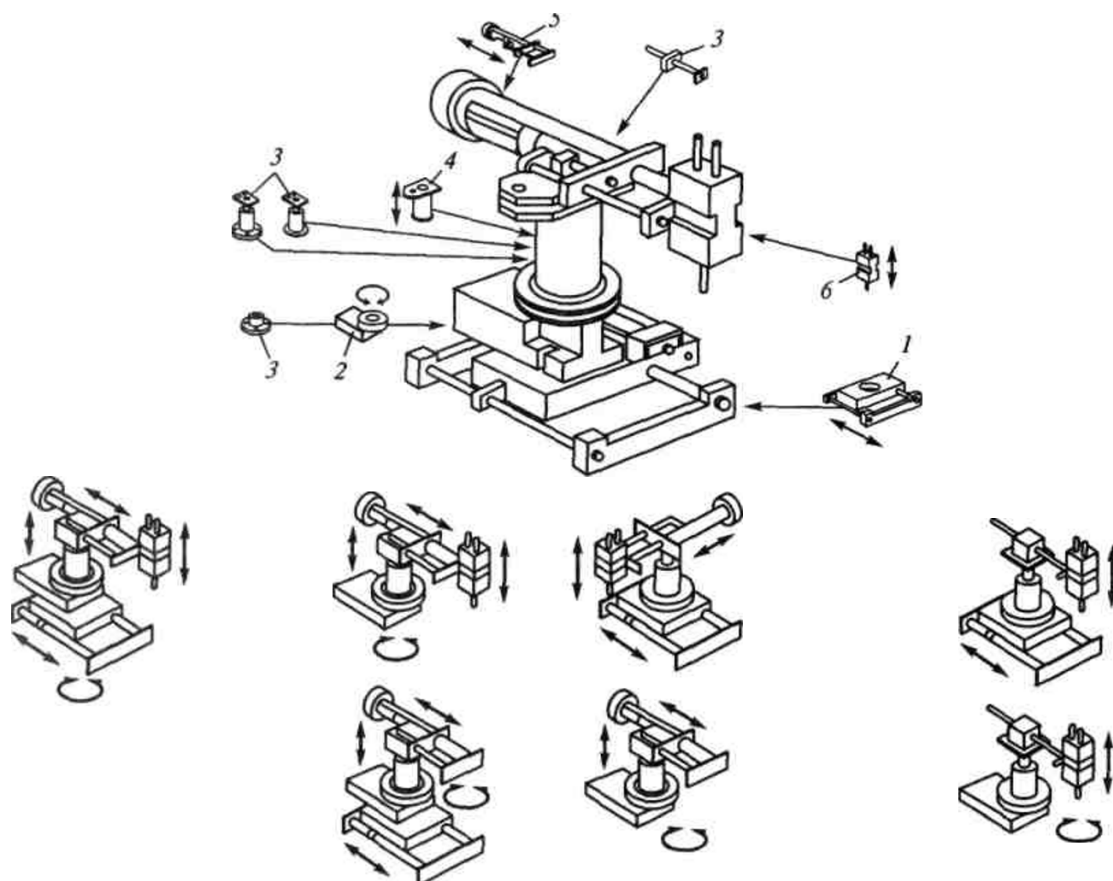


Рис. 15.1. Схеми системи модулів (а) і компоновок з п'ятьма (б), чотирма (в), трьома (г) і двома (д) ступенями рухомості роботів типу ПР5–2

Навчальні роботи (адаптивні) мають здатність самостійно коригувати власну програму на основі накопиченого досвіду. Це відбувається шляхом аналізу та класифікації відхилень, що виникають у процесі роботи, і вибору ефективних способів їх усунення. Такі системи забезпечують підвищення автономності, надійності та точності складання, а також дозволяють компенсувати похибки позиціонування, що виникають у реальних виробничих умовах.

15.3 Системи роботизованого складання

Системи роботизованого складання є важливим елементом сучасного виробництва, спрямованим на підвищення ефективності, точності та економічності процесів складання. Подібно до проектування виробів для високошвидкісного автоматизованого складання, одним із ключових завдань роботизованого складання є надання конструктору інструментів для оцінювання собівартості складання виробу, але вже в умовах використання промислових

роботів. При цьому вибір конкретної системи роботизованого складання істотно впливає на низку конструктивних і технологічних рішень, що залежать від параметрів виробництва — таких як обсяг випуску продукції, номенклатура деталей, рівень автоматизації тощо.

Загалом розрізняють три основні типи систем роботизованого складання [11]:

- одностанційна система з одним маніпулятором (роботом);
- одностанційна система з двома маніпуляторами (роботами);
- багатостанційна система, у якій поєднуються роботи, робочі головки спеціального призначення, а також ручні станції складання (за потреби).

Особливості одностанційних систем. В одностанційних системах основні труднощі виникають у випадках, коли певні деталі вимагають ручного втручання або не можуть бути зібрані повністю автоматично. З міркувань безпеки та зручності обслуговування такі операції зазвичай виконують поза межами зони дії робота. Це реалізується шляхом переміщення складального вузла з допомогою транспортного пристрою до ручної станції, де оператор виконує необхідні операції складання або кріплення. Після завершення ручної операції вузол повертається у зону досяжності робота для подальшої автоматизованої обробки або складання [11].

Робочі головки спеціального призначення. Застосування спеціалізованих робочих головок у системах складання створює низку технічних і організаційних викликів, схожих із тими, що виникають при ручному складанні. Можна виокремити два типові сценарії:

Розділення операцій складання та закріплення. У цьому випадку робот здійснює орієнтацію та розміщення деталі без її негайного закріплення. Після цього вузол транспортується до окремої робочої станції, де виконується операція фіксації — наприклад, запресовування або заклепування.

Інтеграція спеціальної головки з роботом. Така головка є складовою частиною робочого інструмента робота і може виконувати операції паяння,

зварювання, згинання, скручування або обертального заклепування безпосередньо під час маніпулювання деталлю. Це вимагає точного узгодження траєкторії руху, силових характеристик і часу виконання операцій між системою керування роботом та додатковим обладнанням [11].

Багатостанційні системи. У складніших багатостанційних системах подібні проблеми суттєво зменшуються або усуваються завдяки розподілу операцій між кількома станціями. Ручні процеси, роботи спеціального призначення та допоміжне обладнання можуть бути інтегровані в окремі модулі, що забезпечує гнучкість виробництва та можливість переналаштування системи під різні типи виробів. Такий підхід дозволяє оптимізувати часові витрати, мінімізувати простої та підвищити якість готових вузлів.

Отже, під час проектування конструкції виробу надзвичайно важливо враховувати тип системи складання, яка передбачається для його виготовлення. Це дає змогу не лише скоротити витрати на виробництво, а й забезпечити сумісність виробу з наявним технологічним обладнанням і засобами автоматизації.

15.4 Правила проектування виробів для роботизованих систем складання

Більшість принципів, що застосовуються під час проектування виробів для ручного або високошвидкісного автоматичного складання, залишаються актуальними й у разі розроблення конструкцій для роботизованих систем складання. Проте під час оцінювання придатності виробу до складання за допомогою роботів необхідно особливо уважно враховувати потребу у спеціалізованому допоміжному обладнанні — зокрема, у спеціальних захватах, механізмах подачі або позиціонування. Економічна доцільність використання такого обладнання визначається з огляду на його амортизацію протягом життєвого циклу продукту та серійність виробництва, у межах якої передбачається застосування роботизованого складання. Для середніх обсягів виробництва це може істотно підвищити загальну собівартість складання [11].

З метою забезпечення технологічності виробів, призначених для складання за допомогою промислових роботів, варто дотримуватися ряду спеціальних конструкторських принципів [11]:

1. Мінімізація кількості деталей. Зменшення числа складових елементів є базовою стратегією зниження витрат не лише на складання, але й на виготовлення, транспортування та зберігання компонентів. Такий підхід є універсальним незалежно від типу системи складання — ручної, автоматизованої чи роботизованої.
2. Самоорієнтація деталей. Доцільно передбачати в конструкції елементи, що сприяють самостійному орієнтуванню під час складання, такі як фаски, виступи, ребра жорсткості, направляючі кромки тощо. Це особливо важливо для роботів-маніпуляторів, які характеризуються нижчою повторюваністю рухів у порівнянні з жорстко закріпленими автоматичними механізмами. Забезпечення можливості самоорієнтації підвищує стабільність і надійність процесу складання.
3. Самофіксація невстановлених деталей. Конструкція повинна забезпечувати можливість самостійного утримання частин, які не можуть бути одразу закріплені після встановлення. Це особливо важливо для роботизованих систем збирання з однією рукою або з кількома станціями. У випадках, коли деталь не фіксується автоматично, виникає потреба у додаткових пристроях або механізмах, керованих контролером робота, що істотно підвищує витрати. У дворуких системах одна рука може утримувати деталь, тоді як інша виконує операцію складання. Проте це знижує загальну ефективність, адже частина маніпулятора залишається неактивною.
4. Універсальність для одного захоплювального пристрою. Необхідно проєктувати деталі таким чином, щоб робот міг здійснювати всі маніпуляції одним типом захвата. Часті заміни інструментів або захватів істотно знижують продуктивність системи, навіть за наявності швидкозмінних механізмів. Використання гвинтових з'єднань

також створює додаткові труднощі, адже більшість роботів не мають можливості обертання зап'ястка більш ніж на один повний оберт.

5. Збирання по осі Z. Конструкція виробу має передбачати можливість складання шляхом вертикального розташування компонентів один над одним (по осі Z). Такий принцип дозволяє використовувати прості й економічні маніпулятори з чотирма ступенями свободи, що значно зменшує складність системи та спрощує конструкцію робочого оснащення.
6. Мінімізація переорієнтацій. Необхідно уникати потреби в переорієнтації частково зібраних компонентів або проміжних вузлів. Такі операції збільшують тривалість циклу складання без додаткової користі для кінцевого результату. Крім того, необхідність транспортування частково зібраних вузлів між станціями часто потребує складнішого обладнання та маніпуляторів з шістьма ступенями свободи, що підвищує вартість виробничої системи.
7. Зручність подачі деталей. Деталі повинні бути спроектовані так, щоб їх можна було легко відокремити від маси під час подачі. З цією метою необхідно уникати:
 - вкладених або гніздових конструкцій;
 - надмірно гнучких елементів;
 - деталей з тонкими, загостреними або звуженими краями;
 - надто крихких або делікатних матеріалів;
 - деталей, схильних до прилипання або магнітного злипання;
 - абразивних елементів, які зношують транспортні механізми;
 - занадто легких деталей (щільність менше $1,5 \text{ Н/м}^3$ або $0,01 \text{ фунт/дюйм}^3$), для яких опір повітря може впливати на точність подачі.
8. Орієнтація в автоматичних подавачах. Якщо застосовується автоматична подача, деталі повинні мати просту й однозначну орієнтацію,

яку можна забезпечити за допомогою нескладних механічних елементів. Важливо враховувати, що під час роботизованого складання висока швидкість подачі не є критичною; головне, щоб система могла чітко визначити орієнтацію елементів.

9. Уникання додаткових маніпуляцій після подачі. Якщо деталі надходять з автоматичних подавачів, їхня орієнтація має дозволяти роботизованому маніпулятору одразу виконати операцію захоплення та встановлення без додаткових дій. Наприклад, якщо деталь подається в єдиній орієнтації, яка потребує перевертання, це вимагає використання робота з шістьма ступенями свободи або спеціального пристрою для повороту, що підвищує вартість і складність системи.
10. Стабільність розміщення деталей у піддонах. Якщо деталі подаються у піддонах або касетах, їхня форма має забезпечувати стабільність під час захоплення. У деяких випадках допустимо ручне завантаження піддонів, якщо це економічно доцільно. Такий підхід дозволяє уникнути складних систем автоматичної подачі, проте потребує врахування витрат на ручне обслуговування.

Таким чином, проектування виробів для роботизованих систем складання вимагає комплексного підходу, який поєднує конструктивну простоту, технологічність і економічну ефективність. Врахування цих принципів дозволяє мінімізувати потребу у спеціалізованих механізмах, зменшити вартість виробництва й підвищити стабільність процесу складання [11].

Запитання для самоконтролю

1. Яка головна відмінність роботизованого виробництва порівняно з традиційним?
2. Які принципи складання повинні дотримуватись при роботизованому складанні виробів?
3. Які основні етапи автоматизованого складання описані в тексті?
4. Який порядок операцій при виконанні роботизованого складання?
5. В чому полягає різниця між стаціонарним та конвеєрним складанням?
6. Що повинно бути включено в структуру роботизованого комплексу (РТК)?
7. Яка роль циклограм у процесі розробки ТП для РТК?
8. Як уніфікація модулів ПР може вплинути на виробництво?
9. Чим відрізняються навчальні роботи від інших типів робіт?
10. Які три типи систем роботизованого складання згадуються у тексті?
11. Які проблеми виникають при використанні системи з однією станцією та одним роботом?
12. Які фактори впливають на вартість складання в системах роботизованого складання?
13. Які правила проєктування виробів для роботизованого складання згадуються в резюме

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савуляк, В. В. Складальні процеси в машинобудуванні : навчальний посібник / укладач: В. В. Савуляк – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 99 с.
2. ДСТУ 1.3:2004. Національна стандартизація. Правила побудови, викладу, оформлення, узгодження, прийняття та позначення технічних умов.
3. Савчук В. І. Наукові основи складання машин : навчальний посібник / В. І. Савчук, О. В. Івченко, А. В. Євтухов, І. М. Дегтярьов ; за загальною редакцією А. В. Євтухова. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – 277 с.
4. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.
5. Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. – Львів : Новий Світ–2000, 2012. – 358 с.
6. Методичні вказівки до розрахунково–графічної роботи з дисципліни «Складальні процеси в машинобудуванні» для студентів спеціальності 7(8).05050201 Технології машинобудування / Укладачі: Лашина Ю.В., Кореньков В.М. – К.: Електронне видання, 2013. – 36 с.
7. Методичні вказівки до виконання практичної роботи «Складання службового призначення виробів та технічних вимог до їх виготовлення за складальним кресленням» із дисципліни «Наукові основи складання машин» / укладач В. І. Савчук. – Суми : СумДУ, 2017. – 24 с.
8. Гуменюк І. В. Технологія механоскладальних робіт / І. В. Гуменюк, О. В. Гуменюк, В. В. Паржницький. – Кропивницький, Грамота, 2020, 186 с.
9. Кремнєв Г. П. Основи технології складання : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 "Прикладна механіка" / Г. П. Кремнєв, Ф.

- В. Новіков, В. О. Жовтобрюх, В. В. Стрельбіцький. – Дніпро : ЛІРА, 2021. – Ч. I. – 159 с.
10. Види з'єднань (роз'ємні і нероз'ємні з'єднання деталей) : навч. посібник / В. І. Лусь ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 97 с.
11. Geoffrey Boothroyd Peter Dewhurst Winston A. Knight. Product Design for Manufacture and Assembly. Third Edition. CRC Press Taylor & Francis Group. 2011.
12. ZKL Group. Mounting and dismounting of bearings [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.zkl.cz/en/produkty/obecne-informace-pro-konstruktery/10-montaz-a-demontaz-lozisek> (дата звернення: 15.10.2025)