

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

**О. О. Налобіна, О. З. Бундза,
Д. Л. Серілко, М. В. Голотюк**

КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ ТА АГРЕГАТІВ

Навчальний посібник

*Рекомендовано Вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування як
навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів*

Рівне – 2020

УДК 624.81:004.94(075)

К65

Рецензенти:

Пастернак Я. М., д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри прикладної математики та механіки Луцького національного технічного університету;

Корнієнко В. Я., д.т.н., професор, в.о. завідувача кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне).

Рекомендовано Вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.

Протокол № 2 від 15 березня 2019 р.

Налобіна О. О., Бундза О. З., Серілко Д. Л., Голотюк М.В.

К65 Конструювання вузлів та агрегатів : навч. посібник. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 331 с.

ISBN 978-966-327-456-0

Матеріал посібника сформовано у десять тем, які відповідають затвердженій робочій програмі дисципліни «Конструювання вузлів та агрегатів» для студентів, які навчаються за спеціальностями 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія». Навчальний посібник містить матеріал для підготовки до практичних занять, перелік питань для самоперевірки та тестові завдання.

УДК 624.81:004.94(075)

ISBN 978-966-327-456-0

© О. О. Налобіна, О. З. Бундза,
Д. Л. Серілко, М. В. Голотюк, 2020
© НУВГП, 2020

Зміст

Вступ	6
Тема 1. Загальні відомості про створення машин ...	8
1.1. Основні поняття та загальні положення конструювання.....	8
1.2. Методика конструювання.....	12
Питання для самоперевірки та повторення.....	19
Тестові питання.....	19
Тема 2. Жорсткість. Критерії жорсткості	22
2.1. Критерії жорсткості	23
2.2. Конструктивні способи підвищення жорсткості.	28
Питання для самоперевірки та повторення.....	34
Тестові питання.....	35
Тема 3. Маса і матеріаломісткість конструкцій.....	38
3.1. Раціональні перетини.	39
3.2. Міцність і жорсткість профілів.....	40
3.3. Рівноміцність.....	41
3.4. Вплив діаметрів на ефективність облегшення конструкцій.	44
3.5. Вплив галтелей, скосів і конусів на масу конструкції.....	46
3.6. Екструзія профілів.	48
3.7. Вплив силової схеми на масу конструкцій.....	51
3.8. Вплив силових схем. Багатопотокові схеми.....	54
Питання для самоперевірки та повторення.....	56
Тестові питання.....	57
Тема 4. Втомна міцність.....	61
4.1. Етапи розвитку втомного руйнування.....	61
4.2. Цикли напружень.	64
4.3. Вплив характеру навантажень на межу витривалості.....	67
4.4. Концентрація напружень.	69
4.5. Розмірний фактор.....	74
4.6. Підвищення циклічної міцності.	75
4.7. Конструювання циклічно навантажених деталей..	80
Питання для самоперевірки та повторення.....	92
Тестові питання.....	93

Тема 5. Контактна міцність.....	97
5.1. Основні поняття.....	97
5.2. Сферичні з'єднання.....	101
5.3. Циліндричні з'єднання.....	103
5.4. Правила конструювання.....	105
5.5. З'єднання, що працюють під ударними навантаженнями.....	107
Питання для самоперевірки та повторення.....	109
Тестові питання.....	109
Тема 6. Технологічність конструкції виробів.....	114
6.1. Поняття технологічності виробів.....	114
6.2. Види технологічності.....	116
6.3. Основні показники технологічності конструкцій виробу.....	118
6.4. Забезпечення технологічності.....	122
Питання для самоперевірки та повторення.....	125
Тестові питання.....	126
Тема 7. Зрівноваженість та віброзахищеність конструкцій.....	129
7.1. Загальні положення.....	129
7.2. Зрівноваження та сприйняття не зрівноважених сил і моментів.....	130
7.3. Конструктивні методи пом'якшення ударів, зменшення динамічних навантажень, зменшення втрат енергії під час гальмування та реверсуванні.....	134
7.4. Основні види віброзахисту.....	138
7.5. Демпфування вібрацій.....	142
Питання для самоперевірки та повторення.....	145
Тестові питання.....	145
Тема 8. Основні принципи конструювання вузлів	148
8.1. Силові схеми.....	148
8.2. Компактність конструкцій.....	151
8.3. Рівнонавантаженість опор.....	159
8.4. Бомбінування.....	160
Питання для самоперевірки та повторення.....	162
Тестові питання.....	163
Тема 9. Конструювання агрегатів.....	166

9.1. Поняття агрегату.Конструювання силового агрегату машин.....	166
9.2.Конструювання бортових передач.....	173
Питання для самоперевірки та повторення.....	181
Тестові питання.....	182
Тема 10. Збирання вузлів та агрегатів.....	185
10.1. Види з'єднань.....	185
10.2. Технологія збирання.	187
10.3. Види робіт при збиранні.	189
10.4. Розбиття виробів на збиральні одиниці.....	191
10.5. Побудова технологічної схеми збирання.....	194
10.6. Методи збирання та їхні особливості.	199
Питання для самоперевірки та повторення	200
Тестові питання	201
Практичне заняття № 1. Тема: Жорсткість.	
Конструктивні методи підвищення жорсткості	204
Практичне заняття № 2. Тема: Міцністний аналіз деталей та агрегатів засобом модуля <i>APMFEM</i>	214
Практичне заняття № 3. Тема: Відпрацювання конструкцій на технологічність	229
Практичне заняття № 4. Тема: Збирання вузлів та агрегатів	249
Курсовий проект. Тема: Розробка технологічного процесу збирання	266
Додатки	298
Література	325
Предметний покажчик	328

Вступ

Конкуrentоздатність виробів машинобудування формується на базі запровадження нових матеріалів, технологій, конструктивних рішень. Значна роль при цьому відводиться конструктору, який повинен володіти навичками пошуку та обґрунтування оптимальних технічних рішень. Під оптимальним слід розуміти рішення, яке дозволяє досягнути мети та одночасно досягнути максимальної ефективності за прийнятним критерієм їхнього оцінювання.

Роль конструктора у розвитку сучасного машинобудування важко переоцінити. У машинобудуванні до 85% витрат припадає на технічні рішення, які формуються у ході конструювання і розробки технологій. Підвищення ефективності конструювання є однією з основних задач сучасного машинобудування, яку неможливо вирішити без глибокого знання теоретичних основ конструювання вузлів і агрегатів машин, неможливим є досягнути вірного вирішення інженерних проблем.

Дане навчальне видання розроблено у допомогу студентам, які навчаються за спеціальностями 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія».

Посібник містить теоретичний матеріал, сформований з десяти тем, і матеріал для виконання практичних занять, вимоги та послідовність виконання курсової роботи. Перелік тем сформовано відповідно до програми навчальної дисципліни «Конструювання вузлів та агрегатів», складеної відповідно до освітньо-професійної програми підготовки фахівців за спеціальностями 133 «Галузеве машинобудування», галузі знань 13 «Механічна інженерія» та 208 «Агроінженерія», галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство».

Предметом дисципліни «Конструювання вузлів та агрегатів» є основні положення процесу конструювання вузлів і агрегатів у машинобудуванні. Важливим питанням конструювання є забезпечення технологічності деталей та вузлів. У процесі вивчення дисципліни студенти отримують навички розробки процесу збирання об'єкту конструювання. З можливих варіантів послідовного збирання конструктор

повинен вміти обрати такий, який є найбільш економічно та технічно доцільним для даної конструкції вузла або агрегату.

Невід'ємною складовою арсеналу сучасного інженера-конструктора є комп'ютери та спеціалізоване програмне забезпечення. Його застосування дозволяє в разі підвищити продуктивність праці інженера та підвищити якість виконаної роботи. Тому в посібник включено ряд прикладів використання сучасного програмного CAD/CAE – середовища *Компас 3D v.17* компанії «Аскон». У склад цього програмного продукту входить модуль кінцево-елементного аналізу *APM-FEM*. Він дозволяє змоделювати дію навантажень і швидко виконати міцнісні розрахунки як окремої деталі, так цілого вузла чи агрегату на базі попередньо створеної твердотільної моделі. Іншою особливістю модуля є можливість визначення резонансних частот як окремої деталі, так цілого вузла. Результати розрахунків представлені у вигляді автоматично згенерованого звіту, який є зручним для сприйняття та подальшого застосування у технічній документації чи подальших розрахунках.

Видання має за мету сприяти підготовці фахівців у галузі машинобудування та навчити їх вирішувати складні конструкторські задачі.

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СТВОРЕННЯ МАШИН

План викладу матеріалу

1.1. Основні поняття та загальні положення конструювання

1.2. Методика конструювання

1.1. Основні поняття та загальні положення конструювання

Машина за свій життєвий цикл проходить три основні стадії:

1. Проектування (розробка)
2. Виготовлення
3. Експлуатація

Проектування – процес створення нового виробу або удосконалення існуючого. Проект – абстрактний образ виробу, що подається у вигляді проектної документації.

Конструювання є видом проектування. Термін «конструювання» використовують виключно у машинобудуванні в ході створення машин, механізмів, деталей, вузлів, агрегатів. Конструювання – це створення образу конкретного матеріального об'єкту [1]. Конструювання передбачає надання технічним об'єктам та їхнім елементам конкретних геометричних форм і розмірів, виходячи з їхнього функціонального призначення та забезпечення ефективного виготовлення.

Конструювання включає процедури обдумування, відображення, вибору матеріалів і технології виготовлення, воно повинно забезпечувати можливість економічно доцільної матеріальної реалізації загальної концепції об'єкту та його елементів [2].

Щоб уникнути помилок при створенні конкретних конструкцій необхідно познайомитися з абеткою конструювання. Такий підхід дозволить в подальшому створювати не лише типові, але і найрізноманітніші досконалі вироби.

Спочатку розглянемо загальні концепції при конструюванні, в основі яких лежать експлуатаційні, виробничо-технологічні, економічні та ергономічні вимоги. Потім перейдемо до знайомства з принципами і правилами конструювання і прикладами їх конструктивних рішень.

Конструкція виробу повинна максимально задовольняти потреби користувача при низькій ціні мати високу якість. Технічні характеристики повинні знаходитися на рівні світових досягнень і мати резерв розвитку.

При конструюванні механізмів вузлів і деталей повинні виконуватися наступні заходи:

1. Вибір раціональної схеми конструкції і її елементів, наприклад, використання замість розгорнутої схеми співвісної або заміна передачі ковзання гвинт гайка (рис. 1.1, а) на кулькову передачу (рис. 1.1, б). Створення машин нового покоління на базі мехатроніки, коли механічні системи поєднуються з електронними;

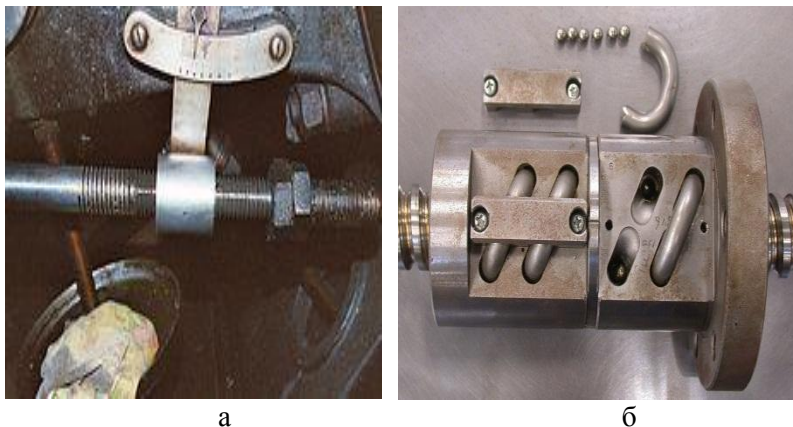


Рис. 1.1. Конструкції: а – передача ковзання, гвинт-гайка, б – кулькова передача

2. Забезпечення показників, записаних в технічному завданні (ТЗ), що визначають призначення, технічні та економічні характеристики об'єкта такі, як продуктивність,

потужність, швидкість руху, вартість та інші параметри, які повинні перевищувати відповідні параметри існуючих виробів;

3. Підвищення надійності і ресурсу. Надійність суттєво впливає на продуктивність роботи, тривалість і трудомісткість технічного обслуговування і ремонту. Надійність характеризує здатність машини зберігати на протязі тривалого проміжку часу свої технічні характеристики і експлуатаційні показники. З плином часу під впливом механічних навантажень, перепадів температур, вологи відбувається старіння її елементів, що веде до погіршення функціональних властивостей машини, порушення її роботоздатності. Розрізняють справний, несправний, роботоздатний, нероботоздатний і граничний стани машини.

У справному стані машина відповідає всім вимогам нормативно-технічної документації, у несправному – не відповідає хоча б одному з них.

Роботоздатний стан машини відповідає здатності виконувати задані функції і зберігати значення всіх параметрів у межах, встановлених нормативно-технічною документацією.

У нероботоздатному стані машина не здатна виконувати задані функції, за умови, що хоча б один параметр не відповідає вимогам технічної документації.

Граничний стан машини – це стан, при якому її подальша експлуатація неможлива. Причини настання граничного стану можуть бути наступні: не дотримання правил проведення середнього або капітального ремонтів; порушення вимог з техніки безпеки, тощо.

У якості критерію граничного стану приймають ознаку (або їхню сукупність), яка характеризує порушення роботоздатного стану машини.

Для машини в цілому такою ознакою може бути, наприклад, потреба у повному розбиранні машини, яка обумовлена пошкодженням базової складальної одиниці (наприклад рамної конструкції).

Для вузлів і агрегатів – потреба заміни або ремонту декількох деталей.

4. Зменшення матеріалоемності. Ця умова виконується при створенні компактних конструкцій і виготовленні деталей з матеріалу з високою питомою міцністю, включаючи метали, біметали, неметали і композити, виборі розмірів і форми деталі, що забезпечує вирівнювання напружень. Можливо також зміцнення матеріалу різними методами (термічними, хіміко-термічними, загрозою фізичної розправи високих енергій і ін.), Використання заготовок, максимально наближених до остаточної форми деталі, одержуваних при великих серіях литтям, штампуванням, зварюванням та іншими високопродуктивними способами.

5. Мале енергоспоживання і висока зносостійкість у ході експлуатації, що реалізується при мінімальних втратах на тертя і високому ККД, наприклад зменшенням втрат шляхом використання в передачах підшипників кочення замість підшипників ковзання.

6. Обґрунтування точності і шорсткості деталей і забезпечення їх взаємозамінності, використання стандартизації і уніфікації деталей і їх елементів.

7. Виключення потрапляння бруду, пилу і вологи на рухомі деталі виробів, що досягається створенням герметичних корпусів, кожухів, ущільнень та інших елементів конструкцій, а також нанесенням антикорозійного покриття на ряд поверхонь, особливо зовнішніх. В результаті такими заходами усувається корозія, а в вузлах тертя зменшується знос.

8. Включення елементів (люків, регулювальних пристроїв) для забезпечення технічного обслуговування, ремонту і контролю

9. Створення безпеки і комфорту оператору або виключення його присутності (автоматизація процесу), усунення шкідливої дії на людину і навколишнє середовище;

Розглянувши загальні положення, можна перейти до більш докладного вивчення основ конструювання.

1.2. Методика конструювання

Вихідними матеріалами для конструювання є:

- 1) технічне завдання;
- 2) технічна пропозиція;
- 3) науково-дослідна робота або експериментальний зразок, який створено на основі її результатів;
- 4) зразок закордонних машин.

Технічне завдання в загальному випадку повинно мати такі розділи: обґрунтування проведення проектних робіт; мета та вихідні дані для проведення робіт; етапи НДР, основні вимоги до виконання НДР; спосіб реалізації результатів НДР; перелік технічної документації, яка подається після закінчення робіт; порядок розгляду і приймання НДР; техніко-економічне обґрунтування; додатки.

Технічна пропозиція – початкова стадія проектування, яка виконується із урахуванням вимог і обмежень, що викладені у технічному завданні. Пропонуються один чи декілька обґрунтованих варіантів об'єкта.

Ескізний проект розробляється у тому випадку, якщо це передбачено ТЗ або протоколом розгляду технічної пропозиції. Проводиться опрацювання оптимального варіанта до рівня принципів конструкторських рішень, які дають уяву про загальну будову і принципи роботи об'єкта. Особливу увагу приділяють використанню відомих випробуваних рішень, стандартних та уніфікованих вузлів та деталей.

Технічний проект виконують після ескізного проектування. Він містить сукупність технічних конструкторських документів, які відображають повне технічне рішення проблеми і дані про будову об'єкта і його складових частин, принцип роботи і взаємодію основних елементів. При цьому об'єкту надаються такі властивості, які можуть бути реалізованими при мінімальних матеріальних та трудових затратах.

Технічний проект виконують після ескізного проектування. Він містить сукупність технічних конструкторських документів, які відображають повне технічне

рішення проблеми і дані про будову об'єкта і його складових частин, принцип роботи і взаємодію основних елементів. При цьому об'єкту надаються такі властивості, які можуть бути реалізованими при мінімальних матеріальних та трудових затратах. Робоча конструкторська документація забезпечує можливість виготовлення дослідного зразка машини або початкової серії. На цій стадії завершується відпрацювання конструкції на технологічність виготовлення і складання, забезпечення техніко-економічних показників. Наявність всіх стадій при розробці нових технічних об'єктів є обов'язковою.

1.2.1. Вибір конструкції машини

При виборі типу конструкції, схеми і параметрів машини головними факторами є ті, які визначають економічну ефективність машини: корисна віддача, малі енергоспоживання і витрати на технічне обслуговування, тривалий термін використання. Схему машини і тип конструкції вибирають шляхом паралельного аналізу декількох розроблених конструктором варіантів. Розробка варіантів машин – це закономірний метод проектування та конструювання, який допомагає знайти раціональне рішення. При цьому порівнюють конструктивну доцільність, досконалість кінематичної і силової схем, надійність, вартість виготовлення, енергоємність, технологічність, ступінь агрегатованості, габарити, металомісткість і масу, зручність та витрати на обслуговування, регулювання, складання-розбирання. Після вибору схеми, типу конструкції та основних показників машини виконують її компонування, на базі якого складають ескізний проект, технічний і робочий проекти машини.

1.2.2. Скорочення номенклатури машин при виробництві та їх універсалізація

Для підвищення серійності випуску, розширення можливостей механізації та автоматизації виробництва, використання прогресивних технологій необхідно проводити

скорочення номенклатури машин. Скорочення номенклатури машин вирішується такими способами:

1) Раціональний вибір їх типу, зокрема створення параметричних рядів машин з раціонально вибраними інтервалами між ними.

2) Збільшення універсальності машин, тобто розширення різновиду операцій, які вони виконують.

3) Закладання до конструкції машин резервів розвитку з подальшим їх використанням.

Раціонально вибраний інтервал між типами машин дозволяє зменшити кількість машин в ряду при одночасному забезпеченні відповідної узгодженості між розрахунковими та номінальними технічними характеристиками машин.

Універсалізація машин забезпечує розширення функцій машин і діапазону операцій, які вони виконують, збільшення номенклатури оброблюваних деталей, підвищує пристосованість машин до вимог виробництва, коефіцієнт їх використання. Важливо правильно оцінити раціональний ступінь універсалізації машин.

1.2.3. Загальна характеристика методів конструювання

В більшості випадків при вирішенні нових завдань конструктор використовує відомі методи вирішення типових інженерних задач, а якщо ці методи не приносять бажаного результату, то виникає потреба в пошуку (розробці) нових методів створення техніки. Найбільш поширеними методами конструювання машин [3] є:

1. Метод конструктивної спадкоємності

Метод полягає у використанні досвіду машинобудування. Початкову модель машини поступово удосконалюють, оснащують новими вузлами і агрегатами, новими технічними рішеннями конструктивних елементів. Застосування методу дозволяє підвищити техніко-економічні показники машин.

2. Метод інверсії

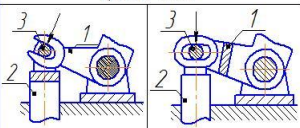
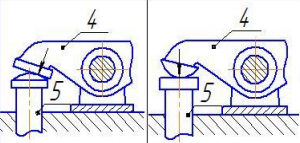
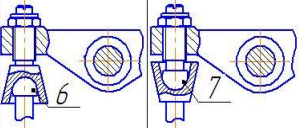
Даний метод полегшує процес конструювання за рахунок зміни ролі деталей. Наприклад, ведучу деталь зробити веденою,

охоплюючи – охопленою, тощо. Доцільно іноді інвертувати форми деталей, наприклад зовнішній корпус замінити внутрішнім, опуклу форму поверхні замінити вгнутою, нерухому деталь рухомою. При цьому конструкція набуває нові властивості.

У табл. 1.1 наведено приклади застосування методу інверсії.

Таблиця 1.1

Застосування методу інверсії [3]

Схеми		Порівняльна характеристика схем
I	II	
<p>Привід тяги</p> 		<p>В схемі I важіль 1 приводить в дію тягу 2 через вісь 3, встановлену у вилку тяги. В схемі II вісь встановлена у вилку важеля. Результат інверсії – усунення поперечних сил на тягу. В конструкції по схемі II ускладнена обробка проушини тяги</p>
<p>Привід штовхача</p> 		<p>В схемі I бойок карамисла 4 плоский, тарілка штовхача 5 – сферична, в схемі II – навпаки. Інверсія усуває поперечні навантаження на штовхач. Бойок можна виготовити циліндричним, що забезпечує лінійний контакт.</p>
<p>Привід карамисла</p> 		<p>В схемі I тяга виконана зі сферичним наконечником 6, в схемі II сферичним виконано бойок 7 карамисла. Інверсія покращує змащування з'єднання (мастило, що знаходиться в парожниці привода, накопичується в чаші тяги)</p>

3. Компонування

Даний метод реалізується в два етапи: ескізний та робочий. На етапі ескізного компоунання розробляють основну схему та загальну конструкцію агрегату (декілька варіантів). На основі аналізу ескізного компоунання складають робоче компоунання, яке уточнює конструкцію агрегату.

Компоунання починають з вибору раціональних кінематичної та силової схем, вірних розмірів і форм деталей, визначення їхнього доцільного розташування. Компоунання

проводять від загального до часткового, а не навпаки. Варіанти компоновання не обов'язково розробляти досконало, вони повинні давати інформацію на підставі якої можна зробити висновки про доцільність подальшої роботи над конструкцією.

У ході компоновання проводять наближені розрахунки основних деталей на міцність і жорсткість. Під час компоновання потрібно враховувати всі фактори, які впливають на роботоздатність агрегату; передбачити умови обслуговування; обґрунтувати матеріали для виготовлення деталей; розробити схеми мащення, збирання – розбирання.

4. Уніфікація.

Уніфікація – багатократне використання у конструкції одних і тих самих елементів, що сприяє зменшенню номенклатури деталей і вартості виготовлення, спрощенню експлуатації і ремонту машин.

Уніфікація конструктивних елементів дозволяє скоротити номенклатуру інструменту, який використовується для виготовлення, вимірювання, монтажу готових виробів.

Уніфікація оригінальних деталей і вузлів може бути внутрішньою (в межах одного виробу) і зовнішньою (використання деталей з інших машин).

Найбільший економічний ефект дає позичання деталей машин, які випускають серійно.

Степінь уніфікації оцінюють коефіцієнтом уніфікації:

$$K_{ун} = \frac{Z_{ун}}{Z} 100\%, \quad (1.1)$$

де Z – загальна кількість деталей;

$Z_{ун}$ – кількість уніфікованих деталей.

Коефіцієнт уніфікації може бути визначено за масою уніфікованих деталей або їхньою вартістю:

$$K_{ун} = \frac{\sum m_{ун}}{m} 100\%, \quad (1.2)$$

або

$$K_{\text{ун}} = \frac{\sum C_{\text{ун}}}{C} 100\%, \quad (1.3)$$

де $\sum m_{\text{ун}}$ – сумарна маса уніфікованих деталей,
 m – маса виробу,
 $\sum C_{\text{ун}}$ – сумарна вартість уніфікованих деталей,
 C – вартість машини.

Степінь внутрішньої уніфікації оцінюють коефіцієнтом повторюваності:

$$K_{\text{п}} = \left(1 - \frac{N_{\text{н}}}{N_{\text{д}}}\right) 100\%, \quad (1.4)$$

де $N_{\text{н}}$ – число найменувань деталей виробу,
 $N_{\text{д}}$ – загальна кількість деталей.

Уніфікація – ефективний спосіб створення машин, який реалізується на базі декількох методів. Розглянемо їх нижче.

Метод секціонування. Даний метод полягає в розділенні машини на однакові секції та створенні нових машин шляхом набору уніфікованих секцій. Секціонування використовують для створення підйомно-транспортних машин, де метод використовують, наприклад, для побудови каркасу та створення машин різної довжини.

Метод зміни лінійних розмірів. Даний метод застосовують за умови необхідності зміни продуктивності машин та агрегатів. При цьому змінюють довжину, зберігаючи форму поперечного перерізу. Метод обмеженого застосування. Рекомендується для мішалок, лопатевих насосів, компресорів, валкових машин. Слід зазначити, що степінь уніфікації за умови застосування даного методу є незначною. Уніфікації підлягають кришки корпусів та ряд допоміжних деталей.

Метод базового агрегата. В основу покладено застосування базового агрегата, який перетворюють у машини різного призначення шляхом під'єднання спеціального обладнання. Широко даний метод застосовують для дорожніх машин, кранів, навантажувачів, сільськогосподарських машин.

У якості базового агрегата використовують трактор, автомобільні шасі.

Конвертування. Метод дозволяє створювати агрегати різного призначення. Наприклад, перевод поршневих двигунів внутрішнього згорання з одного виду палива на іншій.

Компонування. Метод використовують при потребі збільшення потужності або продуктивності устаткування. Полягає метод у паралельному з'єднанні машин або агрегатів. При цьому машини можуть бути встановлені як незалежні агрегати або звязані один з одним синхронізуючими, транспортними устаткуваннями.

Наприклад: парне встановлення двигунів або машин – орудій.

Модифікування. Даний метод полягає у переробці машин з метою пристосування їх до інших умов роботи, виконанню інших операцій без зміни конструкції. Прикладом модифікування є заміна матеріалу для виготовлення деталей.

Агрегатуювання. Метод полягає в створенні машин шляхом об'єднання уніфікованих агрегатів, які являють собою автономні вузли, які встановлюють у різній послідовності на одній станині. Застосування методу дозволяє скоротити строки та вартість проектування та виготовлення машин, спрощення обслуговування та ремонту.

Комплексна нормалізація. Даний метод за змістом близький до попереднього і рекомендовано для простих агрегатів (випарників, теплообмінників, дозуючих устаткувань). Простота конструктивних форм даних агрегатів дозволяє нормалізувати практично всі елементи їхньої конструкції. З нормалізованих деталей, уніфікованих вузлів і покупного обладнання компонують апарати:

- з однаковим робочим процесом, але з різними розмірами і продуктивністю;
- з однаковим призначенням, але з різними параметрами робочого процесу;
- різного призначення та різним робочим процесом.

Уніфіковані ряди. Метод полягає у створенні машин різної потужності або продуктивності шляхом зміни числа

головних робочих органів та їхнього застосування у різних поєднаннях. Використання методу дозволяє спростити процеси проектування та виготовлення машин.

Питання для самоперевірки та повторення

1. Дати визначення понять «проектування» та «конструювання».
2. Які заходи повинні виконуватися при конструюванні механізмів вузлів і деталей ?
3. Які стани машини розрізняють?
4. Який стан машини рахують роботоздатним?
5. Який стан машини рахують граничним? Критерії оцінювання граничного стану.
6. Які матеріали рахують вихідними для конструювання?
7. Які розділи містить технічне завдання?
8. Суть методу інверсії. Наведіть приклади застосування методу.
9. Суть методів компоновання та конструктивної спадковості.
10. Суть уніфікації.
11. Оцінка степені уніфікації.
12. Суть методів секціонування та зміни лінійних розмірів.
13. Суть методів компоновання, модифікування, конвертування

Тестові питання

1. Процес створення нового виробу або удосконалення існуючого називають...
 - Конструювання
 - Проектування
 - Модифікація
 - Класифікація
 - Атестація

2. Які процедури включає процес конструювання?
 - вибору матеріалів і технології виготовлення
 - формування, відображення,
 - обдумування, відображення, доведення
 - вибору, прийняття рішення, формування висновків
 - ескізної підготовки, доведення
3. Оберіть заходи, які виконують при конструюванні:
 - Вибір раціональної схеми конструкції і її елементів, забезпечення показників, записаних в технічному завданні, зменшення матеріалоемності
 - Обґрунтування точності і шорсткості деталей, створення фізичної моделі, експеримент
 - Мале енергоспоживання і висока зносостійкість, доведення фізичної моделі
 - Забезпечення показників, записаних в технічному завданні, зменшення матеріалоемності, виготовлення діючого зразка
 - Апробація, доведення, випробування
4. Вихідними матеріалами для конструювання є:
 - технічне завдання; технічна пропозиція; науково-дослідна робота або експериментальний зразок, який створено на основі її результатів; зразок закордонних машин
 - технічне завдання; технічна пропозиція; теоретичні дослідження
 - теоретичні дослідження, експериментальні дослідження, патентна інформація
 - відомі моделі машин, патентна інформація
 - експериментальний зразок, який створено на основі її результатів; зразок закордонних машин
5. Як називають метод, який полягає у використанні досвіду машинобудування?
 - Метод конструктивної спадкоємності
 - Метод інверсії
 - Метод компонування
 - Метод уніфікації
 - Метод доведення

6. Як називають метод, який полягає у зміні властивостей машини за рахунок зміни ролі її окремих деталей?

- Метод конструктивної спадкоємності
- Метод інверсії
- Метод компонування
- Метод уніфікації
- Метод верифікації

7. Як називають метод, який полягає у багатократному використанні у конструкціях одних і тих самих елементів?

- Метод конструктивної спадкоємності
- Метод інверсії
- Метод сертифікації
- Метод уніфікації
- Метод верифікації

8. Оберіть вірну формулу для визначення коефіцієнту уніфікації

- $K_{ун} = \frac{Z}{Z_{ун}} 100\%$
- $K_{ун} = \frac{Z_{ун}}{Z} 100\%$
- $K_{ун} = \frac{Z_{ун}}{Z}$
- $K_{ун} = \frac{Z_{ун}}{Z} Y_c 100\%$
- $K_{ун} = \frac{NZ_{ун}}{Z} 100\%$

9. Яким чином оцінюють степінь внутрішньої уніфікації?

- коефіцієнтом повторюваності
- коефіцієнтом уніфікації
- коефіцієнтом пропорційності
- коефіцієнтом суміжності
- коефіцієнтом параметризації

10. Як називають метод, який полягає у переробці машин з метою пристосування їх до інших умов роботи?

- Модифікування
- Пристосування
- Модернізації
- Параметризації
- Стандартизації

ТЕМА 2. ЖОРСТКІСТЬ. КРИТЕРІЇ ЖОРСТКОСТІ

План викладу матеріалу

2.1. Критерії жорсткості

2.2. Конструктивні способи підвищення жорсткості

Жорсткість визначає працездатність конструкції в такій же (а іноді і в більшій) мірі, як і міцність. Підвищені деформації можуть порушити нормальну роботу конструкції задовго до виникнення небезпечних для міцності напружень. Порушуючи рівномірний розподіл навантаження, вони викликають зосереджені сили на окремих ділянках деталей, в результаті чого з'являються місцеві високі напруження, які іноді значно перевершують номінальні напруження.

Так, наприклад, недостатня жорсткість корпусів порушує взаємодію розташованих в них механізмів, викликаючи підвищене тертя і знос рухомих з'єднань; недостатня жорсткість валів і опор зубчастих передач порушує точність зачеплення коліс і призводить до швидкого зносу зубів; недостатня жорсткість цапф і підшипників ковзання викликає підвищення кромочного тиску, прояви осередків напіврідинного і напівсухого тертя, перегрів, заїдання або зниження терміну служби підшипників; недостатня жорсткість нерухомих з'єднань, що піддаються дії динамічних навантажень, викликає фрикційну корозію, наклеп і зварювання поверхонь.

Жорсткість має велике значення для машин полегшеного класу (транспортні машини, авіаційна, ракетна техніка). Прагнучи полегшити конструкцію і максимально використати міцнісні ресурси матеріалів конструктора, часто підвищують рівень напружень, що супроводжується збільшенням деформацій. Широке застосування рівномічних, найбільш вигідних за масою конструкцій, в свою чергу, викликає збільшення деформацій, так як рівномічні конструкції найменш жорсткі.

Нерідкими є випадки недооцінювання сил, які діють на конструкцію. Дуже часто при розрахунку отримують мізерні робочі сили, а фактично ж несподівано виникають

навантаження, що призводять до зламу та виходу з ладу деталей. Ці навантаження можуть бути викликані неточностями монтажу, деформаціями недостатньо жорстких елементів конструкції, залишковими деформаціями, перетягуванням кріпильних деталей, підвищеним тертям і перекосами вузлів тертя, силами, що виникають при транспортуванні і установці машини, і іншими факторами, що не враховуються розрахунком. Деформації можна розрахувати лише в найпростіших випадках методами опору матеріалів і теорії пружності.

Досвідчений конструктор, знаючи діючі сили, визначає правильно деформації, виявляє слабкі місця і, користуючись різними прийомами, збільшує жорсткість, komponуючи раціональну конструкцію. Навпаки, конструкції, спроектовані початківцями конструкторами, зазвичай страждають недоліком жорсткості.

2.1. Критерії жорсткості

Жорсткість – це здатність системи протистояти дії зовнішніх навантажень з найменшими деформаціями. Для машинобудування можна сформулювати наступне визначення: **жорсткість** - це здатність системи протистояти дії зовнішніх навантажень з деформаціями, допустимими без порушення працездатності системи. Поняттям, оберненим жорсткості, є **піддатливість**.

Жорсткість оцінюють **коефіцієнтом жорсткості**, що є відношенням сили F , яка прикладається до системи, до максимальної деформації f , спричиненої цією силою. Для випадку розтягу-стиску бруса постійного перерізу в межах пружної деформації коефіцієнт жорсткості відповідно до закону Гука:

$$C = \frac{F}{f} = \frac{\sigma S}{f} = \frac{ES}{l}, \quad (2.1)$$

де F , Н – зовнішня сила;

f , мм – величина статичного прогину;

σ , МПа – напруження у небезпечному перерізі бруса;

S , мм² – площа перерізу бруса;
 E , мПа – модуль пружності;
 l , мм – довжина бруса у напрямку дії сили.

Величина зворотня до коефіцієнту жорсткості – піддатливість (коефіцієнт пружності):

$$\mu = \frac{1}{f}. \quad (2.2)$$

Для випадку кручення бруса постійного перерізу коефіцієнт жорсткості дорівнює відношенню прикладеного до бруса крутного моменту $M_{кр}$ до викликаного цим моментом кута φ (рад) повороту перерізів бруса на довжині l , мм:

$$c = \frac{M_{кр}}{\varphi} = \frac{GJ_p}{l}, \quad (2.3)$$

де $M_{кр}$, Нмм – крутний момент, прикладений до бруса;

φ , рад – кут закручування;

G , мПа – модуль зсуву;

J_p , мм⁴ – полярний момент інерції перерізу бруса.

Для випадку згину бруса постійного перерізу коефіцієнт жорсткості визначається:

$$c = \frac{F}{f} = a \frac{EI}{l^3}, \quad (2.4)$$

де I , мм⁴, – момент інерції перерізу бруса;

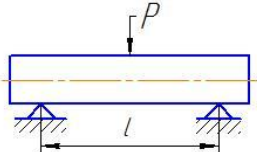
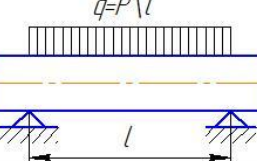
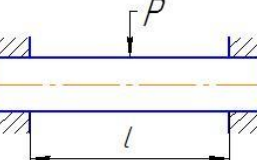
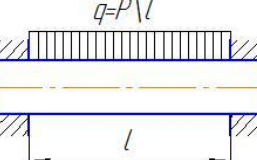
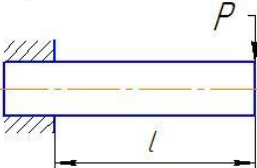
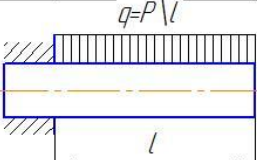
l , мм – довжина бруса;

a – коефіцієнт, який залежить від умов навантаження (табл. 2.1).

У табл. 2.1 наведені значення коефіцієнту жорсткості при згині для декількох випадків навантаження. За одиницю прийнято значення, яке відповідає згину двохопорного бруса, навантаженого зосередженою силою P в середині прольоту. Як видно з табл. 2.1, жорсткість системи сильно залежить від умов навантаження.

Таблиця 2.1

Значення коефіцієнту жорсткості та коефіцієнту α [3]

	Схема навантаження	с	α
1		1	48
2		15	77
3		4	192
4		8	384
5		0.063	3
6		0.166	8

Брус, навантажений рівномірно розподіленою силою, має в 1,5 рази більшу жорсткість, ніж брус, навантажений зосередженою силою того ж сумарного значення. Ще більший вплив на жорсткість мають тип і розташування опор. Наприклад, жорсткість двохопорного бруса з закріпленими кінцями в 4-8 разів перевищує жорсткість бруса, вільно опертого на кінцях. Жорсткість консольного бруса, навантаженого зосередженою силою, становить лише 0,063 жорсткості двохопорного бруса тієї ж довжини, навантаженого тією ж силою посередині прольоту.

При заданому навантаженні і заданих лінійних розмірах системи жорсткість цілком визначається максимальною деформацією. Цю величину часто застосовують для практичної оцінки деформацій геометрично однакових систем.

Базуючись на наведених вище рівняннях, проаналізуємо фактори, що визначають жорсткість конструкцій.

Жорсткість конструкцій визначають наступні чинники:

- модуль пружності матеріалу (модуль нормальної пружності E при розтягуванні-стисненні і згині,
- модуль зсуву G – при зсуві і крученні);
- геометричні характеристики перерізу тіла, що деформується (переріз S при зсуві і розтягуванні-стисненні, момент інерції I при згині, полярний момент інерції J_p при крученні);
- лінійні розміри тіла, що деформується (довжина l);
- вид навантаження і тип опор.

Модуль пружності є стійкою характеристикою металів, мало залежить від термообробки і вмісту легуючих елементів і визначається атомно-кристалічною решіткою основного компонента. З технічних металів тільки W, Mo і Be мають підвищений модуль пружності (відповідно $E = 40, 35$ і $31 \cdot 10^4$ МПа). Вибір матеріалу здебільшого визначається умовами роботи деталі. Тому, головним практичним засобом збільшення жорсткості є маневрування геометричними параметрами системи.

На жорсткість також значним чином впливають розміри та форма перерізів. Слід зауважити, що вплив лінійних розмірів

деталі на величину деформації є незначним за умови прикладання розтягуючої (стискаючої) сили. Однак за умови виникнення деформації згину даний вплив є суттєвим.

Проаналізуємо вплив величини напружень на деформацію та, відповідно, жорсткість конструкцій.

Напруження приймають, як правило, пропорційними міцності матеріалу; допустимі напруження представляють собою відношення межі міцності (або межі текучості) до коефіцієнта міцності. Отже, чим вище міцність матеріалу, тим більше допустимі напруження і при інших рівних умовах більшою є деформація системи. Навпаки, чим менше запас міцності і діючі в системі напруження наближені до межі міцності, тим більше деформація і менше жорсткість системи.

Найбільш простий спосіб зменшення деформацій полягає в зменшенні рівня напружень. Однак цей шлях є нераціональним, оскільки він пов'язаний зі збільшенням маси конструкції. У разі згину раціональним способом зменшення деформацій є доцільний вибір форми перерізів, умов навантаження, типу і схеми розташування опор. Оскільки вплив лінійних параметрів системи при згині великий (формула (2.4), то в даному випадку є ефективні способи збільшення жорсткості, що дозволяють зменшити деформації системи в десятки разів у порівнянні з вихідною конструкцією, а іноді практично повністю виключити згин. У разі кручення ефективними засобами підвищення жорсткості є зменшення довжини деталі на ділянці кручення і, особливо, збільшення діаметра, так як полярний момент інерції зростає пропорційно діаметру в четвертій степені.

У разі прояву деформацій розтягу (стиску) можливість збільшення жорсткості набагато менше, так як форма перерізу не впливає на величину деформацій, а деформації залежать лише від площі перерізу, яка визначається з умови міцності. Дієвим способом підвищення жорсткості у даному випадку є зменшення довжини деталі. У випадку неможливого рішення проблеми таким способом потрібно замінити матеріал, обраний для виготовлення деталі (обрати матеріал з більш високим модулем пружності).

2.2. Конструктивні способи підвищення жорсткості

Розглянемо відомі конструктивні способи підвищення жорсткості без істотного збільшення маси конструкції:

- заміна деформацій згину на розтяг (стиск);
- для деталей, які працюють на згин, необхідно обґрунтувати раціональний спосіб розташування опор;
- збільшення моментів інерції перерізів. При цьому є не допустимим зростання маси деталі;
- підсилення ребрами жорсткості, які працюють переважно на стиск;
- підсилення окремих ділянок конструкцій і ділянок переходу від одного перерізу до іншого з метою зменшення концентрації напружень;
- блокування деформацій за рахунок введення поперечних і діагональних зв'язків;
- залучення жорсткості суміжних деталей;
- для деталей коробчатого типу – застосування форм типу скорлупча, склепіння, сфера, тощо;
- для деталей типу дисків – застосування конічних, сферичних форм; раціональне оребрення, гофрування;
- для деталей типу плита – застосування міцних, коробчастих, двотільних, пористих і сотових конструкцій.

Заміна деформацій згину на розтяг (стиск)

Підвищена жорсткість деталей, які працюють на розтяг-стиск, обумовлена найкращими умовами використання матеріалів при цьому виді навантаження [3]. Уразі прояву деформацій згину або кручення навантаженими є переважно крайні волокна перерізу, при цьому серцевина залишається недовантаженою.

За умови дії розтягуючих (стискаючих) зусиль по всьому перерізу деталі діють однакові напруження. Деформації, які виникають у перерізі деталі, пропорційні її довжині.

За умови прикладання до деталі зусилля згину деформація перерізу пропорційна довжині в третій степені.

Розглянемо консольну балку круглого перерізу ($d = 20$ мм), навантажену згинальною силою P (рис. 2.1, а), і

трикутну ферму з однаковим вильотом l , складену з стрижнів того ж діаметру. Верхній стрижень ферми під дією сили P працює на розтяг, нижній – на стиск. При співвідношеннях, показаних на рис. 2.1, максимальне напруження згину в балці в 550 разів більше напружень розтягу-стиску в стрижнях ферми, а максимальна деформація (в точці прикладання сили P) більша в $9 \cdot 10^3$ разів. Для того щоб зробити системи рівномісними, необхідно збільшити діаметр балки до 165 мм (рис. 2.1, б). При цьому маса балки (не рахуючи окремої ділянки) стає в 25 разів більшою за масу ферми, а максимальний прогин – в 2 рази більше прогину ферми.

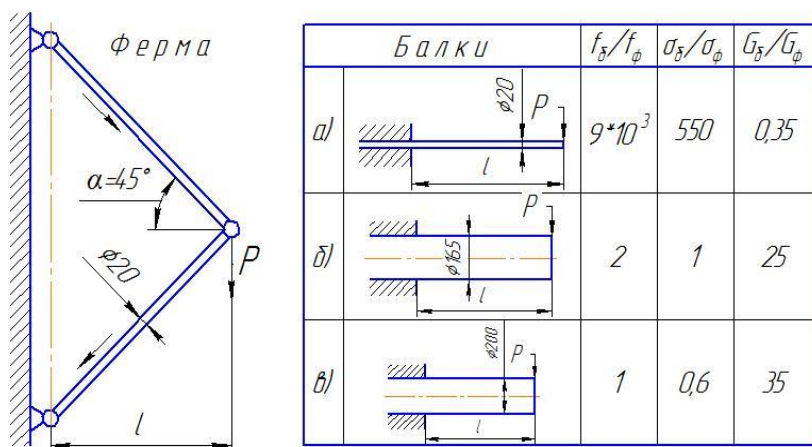


Рис. 2.1. Схеми конструкцій для порівняння жорсткості

Для досягнення однакової жорсткості (рівність максимальних прогинів) необхідно збільшити діаметр балки до 200 мм (рис. 2.1, в). При цьому напруження зменшуються до 0,6 від величини напруження в стрижнях ферми. Зв'язок між прогином консольної балки f_σ круглого перерізу в площині прикладання сили і прогином фермової системи f_ϕ при однакових перерізах можна виразити співвідношенням:

$$\frac{f_{\sigma}}{f_{\phi}} \approx 10,5 \left(\frac{l}{d}\right)^2 \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha, \quad (2.5)$$

де l – довжина вильоту;
 d – діаметр стрижнів балки та ферми;
 α – половина кута при вершині трикутника.

Розглянемо литий кронштейн (рис. 2.2) [3]. Жорсткість вузлів з'єднання стрижнів у розкосному кронштейні видозмінює умови їх роботи в порівнянні з чистою фермою, в якій стрижні з'єднані шарнірами. У розкосному кронштейні (рис. 2.2, б) стрижні працюють переважно на розтяг-стиск, тоді як балковий кронштейн (рис. 2.2, а) піддається згину. Конструкція стає ще більш міцною і жорсткою, якщо стрижні кронштейна з'єднати суцільною перемичкою, яка зв'язує їх у жорстку систему (рис. 2.2, в). Кронштейн фермового типу з вертикальним стрижнем (рис. 2.2, г) значно менш жорсткий, ніж кронштейн на рис. 2.2, б так як кінець вертикального стрижня під навантаженням переміщується практично у напрямку дії сили і для обмеження деформацій його жорсткість не використовується.

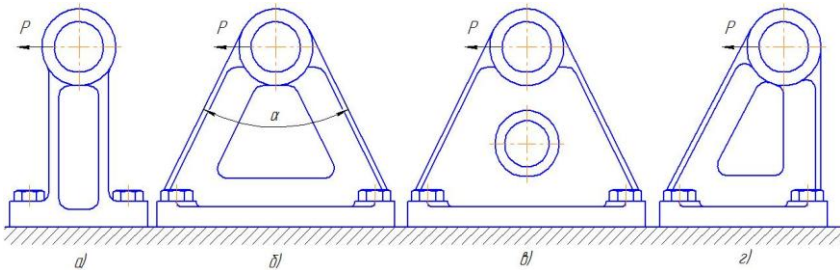


Рис. 2.2. Кронштейни

Блокування деформацій

За умови реалізації даного способу підвищення жорсткості завдання конструктора полягає в тому, щоб знайти точки найбільших переміщень системи, яка деформується під дією навантаження, і запобігти цим переміщенням шляхом введення елементів розтягу-стиску, розташованих у напрямку

переміщень [3]. Класичним прикладом вирішення цього завдання є збільшення жорсткості рам і фермових конструкцій розкосами. Жорсткість стрижневої рами, яка піддається дії сил зсуву P (рис. 2.3, *a*), є незначною і визначається тільки опором вертикальних стрижнів згину і жорсткістю вузлів з'єднання стрижнів. Введення косинок (рис. 2.3, *б*) наближає схему навантаження стрижнів до схеми роботи закріплених балок і дещо зменшує деформації.

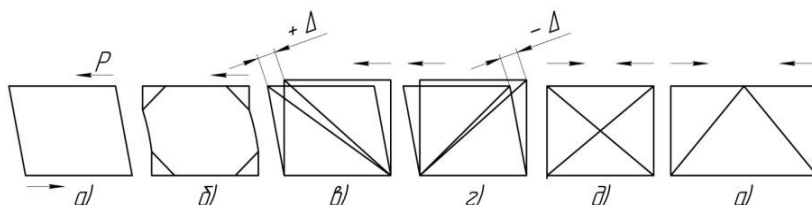


Рис. 2.3. Схеми дії діагональних зв'язків

Найбільш ефективним є введення діагональних зв'язків (розкосів), що піддаються розтягу або стиску. Розкіс розтягу (рис. 2.4, *в*) повинен при перекосі рами подовжитися на величину Δ . Так як жорсткість розтягнутого стрижня у багато разів більше згинальної жорсткості вертикальних стрижнів, то загальна жорсткість системи різко зростає. Аналогічно діє розкіс стиснення (рис. 2.4, *г*). Але в цьому випадку необхідно зважати на можливість поздовжнього згину стисненого стержня, що робить систему менш жорскою [3]. Якщо навантаження діє поперемінно в обох напрямках, то застосовують розкоси перехресні (рис. 2.4, *б* і *е*).

Якщо згідно конструкції та функціональному призначенню деталей відсутня можливість уникнути деформацій згину, тоді необхідно обґрунтувати шляхи зменшення деформацій та напружень згину.

На рис. 2.5 наведено схеми згину балок: консольної (рис. 2.5, *a*), на опорах (рис. 2.5, *б*), з закріпленими кінцями (рис. 2.5, *в*).

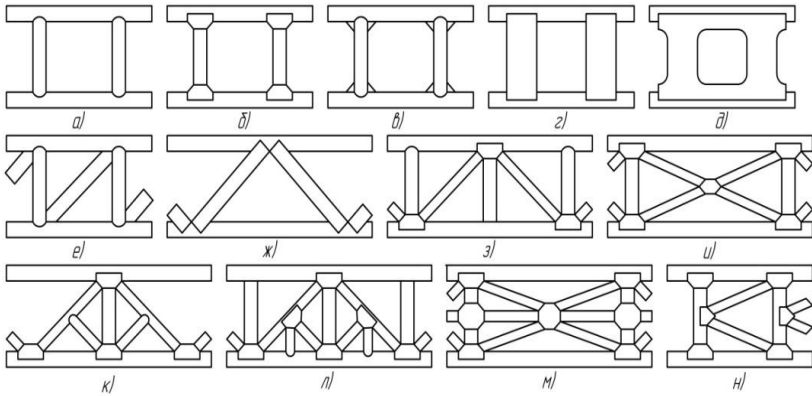


Рис. 2.4. Плоскі ферми

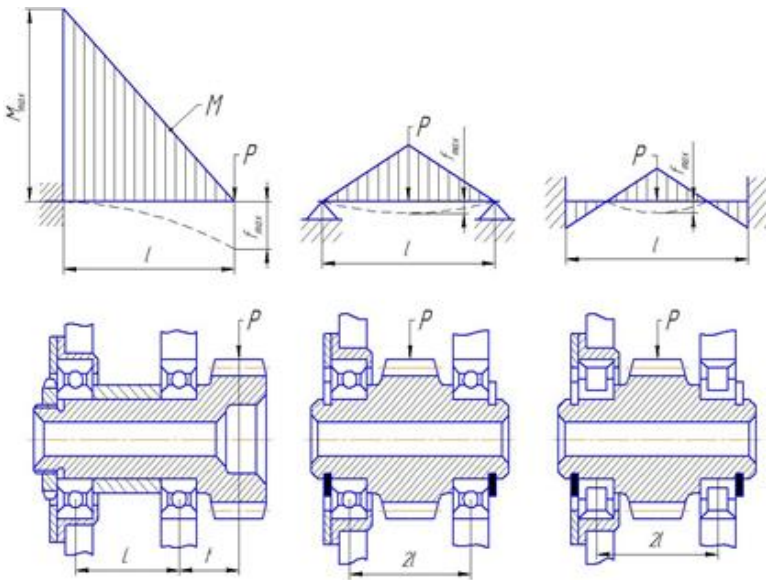


Рис. 2.5. Схеми навантажень балок силами згину:

$$\begin{aligned}
 \text{a} - M_{max} &= Pl, f_{max} = \frac{Pl^3}{3EI}; & \text{б} - M_{max} &= \frac{Pl}{4}, f_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}; \\
 \text{в} - M_{max} &= \frac{Pl}{8}, f_{max} = \frac{Pl^3}{192EI}
 \end{aligned}$$

Як бачимо з рис. 2.5 найменша величина прогину для балки (валу) розміщеної на двох опорах за умови прикладання зовнішнього навантаження посередині прольоту (рис. 2.5, в).

Якщо конструювання конструкції потребує використання консольних конструкцій, потрібно усунути недоліки, притаманні таким конструкціям. Для цього потрібно:

- а) зменшити вильот консолю;
- б) підвищити міцність консольної частини конструкції;
- в) підвищити жорсткість консольної частини.

Раціональні перерізи

З метою підвищення жорсткості без збільшення маси деталі підсилюють ті ділянки перерізів, в яких виникають найбільші напруження [3] та видаляють ненавантажені та мало навантажені ділянки. За умови прикладання згинальних навантажень найбільші напруження виникають у перерізах, які є найбільш віддаленими від нейтральної осі. За умови прикладання крутного моменту найбільші напруження виникають у зовнішніх волокнах. При цьому потрібно розвивати зовнішні розміри, зосереджуючи матеріал на периферії та видаляти його з центру. Найбільшу жорсткість і міцність мають розвинуті по периферії поля тонкостінні деталі типу коробок, труб і оболонок [3].

Оребрення

Оребрення застосовують з метою збільшення жорсткості корпусних деталей (рис. 2.6).

При цьому потрібно дотримуватись наступних рекомендацій:

- запобігати навантаженню ребер на розтяг;
- запобігати застосуванню низьких, тонких і рідко розставлених ребер, які істотно понижують міцність деталей;
- у корпусних деталях застосовувати внутрішнє оребрення;
- не використовувати ребра s-подібної криволінійної форми;
- доцільно у ребер (особливо у ребер розтягу) потовщувати вершини, де під час згину виникають найбільші напруження.

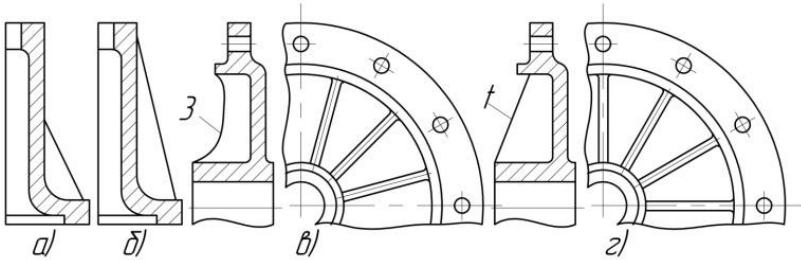


Рис. 2.6. Оребрення деталей: *a, в* – доцільна; *б, з* – недоцільна форма ребер

Питання для самоперевірки та повторення

1. Дайте визначення поняття «жорсткість».
2. Яким критерієм оцінюють жорсткість?
3. Наведіть формули для визначення коефіцієнта жорсткості за умови дії на деталь розтягуючої (стискаючої) сили.
4. Наведіть формули для визначення коефіцієнта жорсткості за умови дії на деталь крутного моменту.
5. Наведіть формули для визначення коефіцієнта жорсткості за умови дії на деталь згинальної сили.
6. Назвіть чинники впливу на жорсткість конструкції.
7. Назвіть основні конструктивні способи підвищення жорсткості.
8. Яким чином впливає заміна деформації згину на розтяг (стиск) на жорсткість ?
9. Наведіть приклади заміни деформації згину на розтяг (стиск) і поясніть яким чином зміниться жорсткість конструкції.
10. Поясніть яким чином можливо блокувати деформації у конструкціях і яким чином це впливає на жорсткість.
11. Яких рекомендацій потрібно дотримуватись у ході оребрення деталей?

Тестові питання

1. Оберіть вірний вираз для визначення коефіцієнта жорсткості за умови дії на деталь розтягуючої сили

$$- c = \frac{F}{f} = \frac{\sigma}{f} = \frac{S}{l}$$

$$- c = \frac{F}{f} = \frac{\sigma S}{f} = \frac{ES}{l}$$

$$- c = \frac{f}{P} = \frac{f\sigma}{S} = \frac{ES}{l}$$

$$- c = \frac{F}{f} = \frac{\sigma S}{f} = \frac{lE}{S}$$

$$- c = Pf = \sigma\mu P = En$$

2. Оберіть вірний вираз для визначення коефіцієнта жорсткості за умови дії на деталь крутного моменту

$$- c = \frac{M_{кр}}{\varphi} = \frac{GJ_p}{l}$$

$$- c = M_{кр}\varphi = \frac{GJ_p}{f}$$

$$- c = \frac{M_{кр}}{l} = \frac{GJ_p}{\varphi}$$

$$- c = \frac{M_{кр}}{\varphi} = \frac{GJ_p}{l}$$

$$- c = \frac{M_{кр}}{\varphi} = \frac{G}{n} J_p$$

3. Як називається величина зворотня до коефіцієнта жорсткості?

- деформація
- пружний параметр
- піддатливість
- міцність
- стійкість

4. Як визначається коефіцієнт жорсткості для випадку згину бруса постійного перерізу ?

$$- c = \frac{P}{l} = a \frac{P}{l^3}$$

$$- c = \frac{P}{a} = \frac{EI}{l^3}$$

$$- c = \frac{P}{f} a = \frac{EI}{l^3}$$

$$- c = \frac{FE}{f} = a \frac{\delta I}{l^3}$$

$$- c = \frac{F}{f} = a \frac{EI}{l^2}$$

5. Які чинники визначають жорсткість конструкцій?

- модуль пружності матеріалу, модуль зсуву, геометричні характеристики перерізу, вид навантаження і тип опор
- вид навантаження і тип опор, відстань від точки прикладання сили до опори
- форма деталі, величина крутного моменту, плече сили
- діаметр деталі, діаметр отвору, маса деталі
- геометричні характеристики перерізу, вид навантаження і тип опор, піддатливість, коефіцієнт стійкості

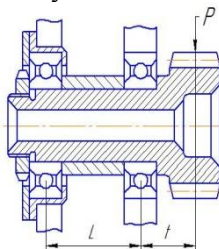
6. До способів підвищення жорсткості без істотного збільшення маси конструкції відносять:

- блокування деформацій за рахунок введення поперечних і діагональних зв'язків
- термічну обробку деталей
- шліфування поверхонь
- зменшення дотичних напружень
- зменшення нормальних напружень

7. За умови дії яких зусиль по всьому перерізу деталі діють однакові напруження?

- розтягуючих (стискаючих)
- згинальних
- крутного моменту
- сили зсуву
- комбінованих

8. Оберіть вираз для визначення максимального прогину для даної схеми кріплення валу



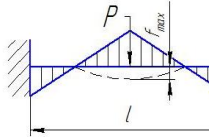
- $f_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}$
- $f_{max} = \frac{Pl^4}{48EI}$

$$- f_{max} = \frac{Pl^2}{24EI}$$

$$- f_{max} = \frac{\sigma J^3}{48EI}$$

$$- f_{max} = \frac{Pl^3}{2EI}$$

9. Оберіть вираз для визначення максимального моменту для даної схеми



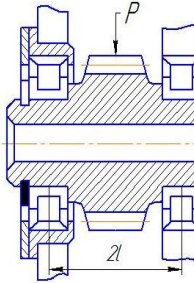
$$- M_{max} = \frac{Pl}{8}$$

$$- M_{max} = \frac{Pl}{4}$$

$$- M_{max} = \frac{Pl}{2}$$

$$- M_{max} = Pl$$

$$- M_{max} = 2Pl$$



10. За яких умов деформація перерізу пропорційна довжині в третій степені?

- за умови прикладання до деталі зусилля згину
- за умови прикладання до деталі зусилля розтягу
- за умови прикладання до деталі зусилля стиску
- за умови прикладання до деталі крутного моменту
- за умови одночасного прикладання до деталі зусиль згину та розтягу

ТЕМА 3. МАСА І МАТЕРІАЛОМІСТКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ

План викладу матеріалу

- 3.1. *Раціональні перетини*
- 3.2. *Міцність і жорсткість профілів*
- 3.3. *Рівноміцність*
- 3.4. *Вплив діаметрів на ефективність облегшення конструкцій*
- 3.5. *Вплив галтелей, скосів і конусів на масу конструкції*
- 3.6. *Екструзія профілів*
- 3.7. *Вплив силової схеми на масу конструкцій*
- 3.8. *Вплив силових схем. Багатопотокові схеми*

Проблема матеріалозбереження під час виготовлення машин є однією з основних складових загальної проблеми ресурсозбереження в машинобудуванні. Матеріалоємність визначає експлуатаційні характеристики, собівартість і конкурентоздатність виробів. У зв'язку з цим проблема матеріало- та металоємності вирішується у двох напрямках:

- матеріало- та металоємність деталей та вузлів машин, яка формується на етапах конструювання та проектування машин;
- витрата конструкційних матеріалів, що виявляється на етапах виготовлення деталей і вузлів машин.

Масу або матеріалоємність машини більш показово оцінюють величиною питомої маси – відношенням маси до найбільш характерного експлуатаційного параметру машини, наприклад, потужності двигуна, вантажопідйомності.

Машини, зазвичай, виготовляють з металів, тому характерним показником для оцінювання машин є питома металомісткість:

$$\vartheta = \frac{V}{N} = \frac{\sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \sum \frac{m_2}{\gamma_2} + \dots + \sum \frac{m_n}{\gamma_n}}{N}, \quad (3.1)$$

де $\sum m_1, \dots, \sum m_n$ – сумарні маси деталей, які виготовлено з відповідних матеріалів з щільністю $\gamma_1, \dots, \gamma_n$.

Коефіцієнт використання об'єму:

$$\delta = \frac{1}{9}. \quad (3.2)$$

Зменшення маси з одночасним зменшенням металомісткості досягають за рахунок надання деталям раціональних перерізів і форм, доцільним використанням міцності матеріалів, застосуванням міцних матеріалів, раціональних конструктивних схем, усуненням надлишкових запасів міцності, заміною металів неметалевими матеріалами.

3.1. Раціональні перетини

Одним із напрямків зменшення маси деталей є надання їм повної рівномірності. Деталь називають рівномірною за умови що напруження у кожному перерізі є однаковими.

За умови дії згинальних зусиль, крутного моменту і складних напружених станах напруження по перерізу розподіляються нерівномірно. Вони досягають максимальної величини у крайніх точках перерізу та зменшуються в інших місцях до нуля. У цих умовах лише можна наблизитись до рівномірності за рахунок вирівнювання напружень по перерізу, наприклад, за рахунок видалення металу з менш навантажених місць (на периферії перерізу) (рис. 3.1).

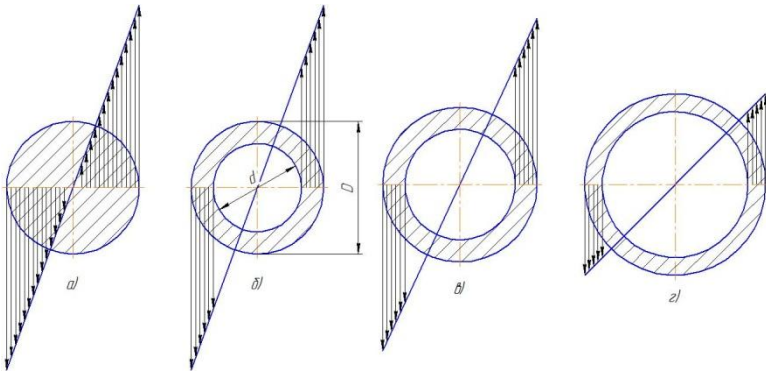


Рис. 3.1. Схеми розподілу напружень у круглих перерізах

3.2. Міцність і жорсткість профілів

В машинобудуванні широко використовуються круглі профілі (вали, осі та інші циліндричні деталі). На рис. 3.2 приведено графік залежності моменту від опору рівномірних на згин і кручення циліндричних деталей від товщини стінки (a - відношення внутрішнього та зовнішнього діаметрів $a = d / D$) і постійної заданої маси деталі.

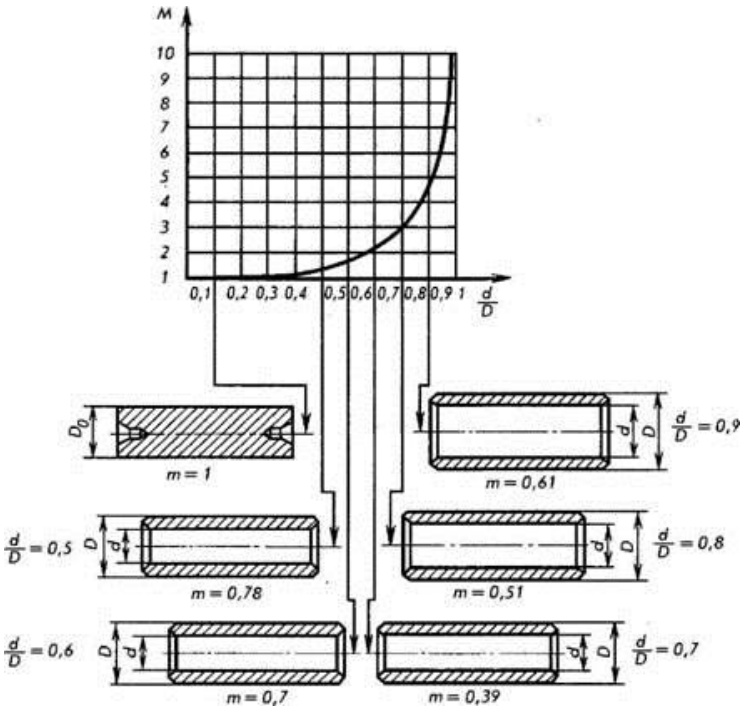


Рис. 3.2. Графік залежності моменту від опору рівномірних на згин і кручення циліндричних деталей від товщини стінки

Графік свідчить про переваги порожнистих тонкостінних конструкцій. При d/D рівному 0,9 момент опору деталі збільшується в 4,5 рази, а при $d/D = 0,95$ - у 6 разів порівняно з масивною деталлю.

Збільшення відносного розміру зовнішніх діаметрів з одночасним введенням внутрішніх порожнин та отворів призводить до різкого збільшення показників міцності та жорсткості при одночасному зменшенні маси деталі.

Приведені в прикладі закономірності лежать в основі характерного для сучасного машинобудування тенденції застосування тонкостінних конструкцій для деталей, від яких вимагається найвища міцність і жорсткість при найменшій масі.

З вище викладеного можна зробити висновок: розміри, форма й маса деталей машин, в першу чергу, залежать від навантажень, що діють на деталі. Правильно вибрані розміри та форма деталей машин визначають міцність конструкції в цілому.

3.3. Рівноміцність

У випадку кручення, згину та складних напружень, коли рівність напружень по перетину принципово не допускається, рівноміцними вважаються деталі, у яких однакові максимальні напруги в кожному перерізі (з урахуванням концентрації напружень).

За умови дії згинальних напружень умова рівноміцності полягає в рівності робочого згинального моменту, що діє в кожному перерізі, до моменту опору даного перерізу. За умови дії крутного моменту – рівність моментів опору крученню кожного перерізу деталі; при складних напруженнях – у рівності запасів міцності.

На рис. 3.3 подано способи надання рівноміцності циліндричній деталі, яка навантажена згинальною силою.

Поняття рівноміцності застосовують як до деталей так і до конструкції в цілому. Рівноміцними називають конструкції, деталі яких мають однаковий запас міцності по відношенню до навантажень, які на них діють.

Робочі навантаження та напруження визначають розрахунком. Форми рівноміцності іноді важко виконати технологічно і їх приходиться спростити.

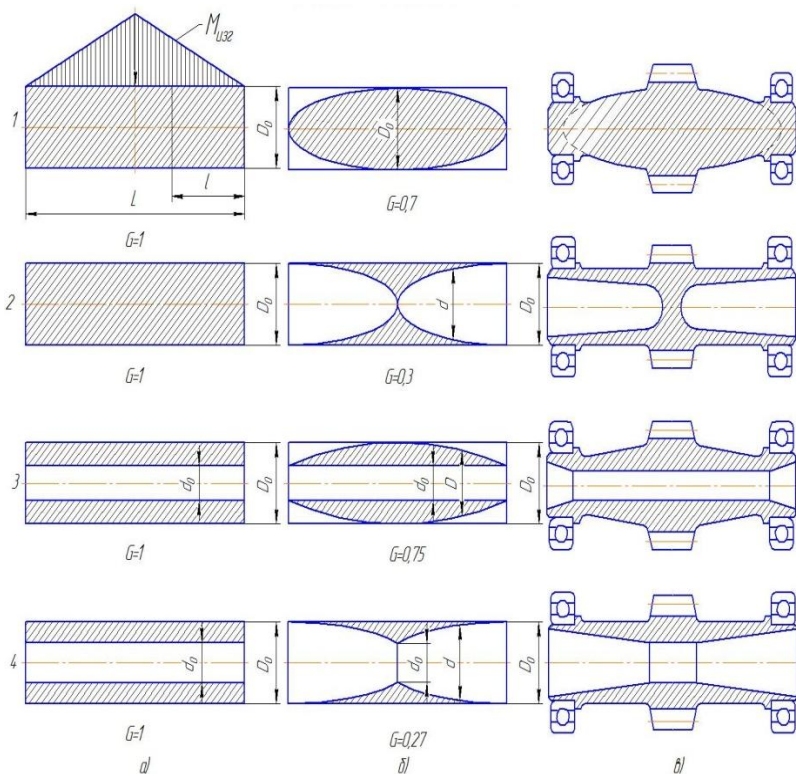


Рис. 3.3. Схеми надання рівномірності деталям циліндричної форми:
 а – початкові форми, б – рівномірні форми,
 в – конструктивне оформлення рівномірних деталей

Конструювання рівномірних деталей практично зводиться до приблизного відтворення оптимальних форм при повному зменшенні впливу всіх концентраторів напружень.

За умови збереження рівномірності деталі можна об'єднувати наступними способами:

- видалення металу з малонавантажених ділянок;
- деталі типу шестерні та інші поворотні вироби, що мають форму дисків, об'єднують вибиранням або зняттям значної частки металу на ділянках, які розташовані ближче до

периферії і меншої частки на ділянці, наближеної до центру (рис. 3.5).

- у деталях типу фланців замінюють кругові форми на багат шарові або фігурні з виїмками (рис. 3.5);

- у всіх деталях, що мають прямокутні виступи, галтелі, скоси, конуси та гострі кути замінюють їх на плавні переходи.

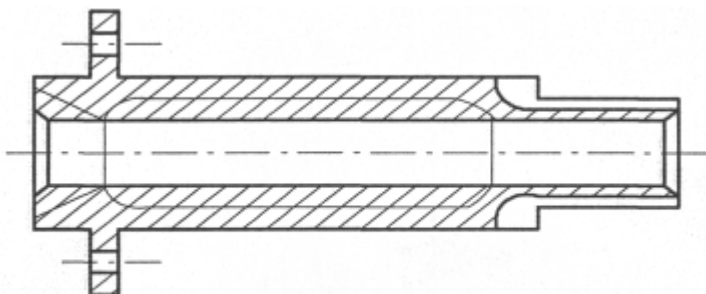


Рис. 3.4. Приклад забезпечення рівномірності фланцевого валу

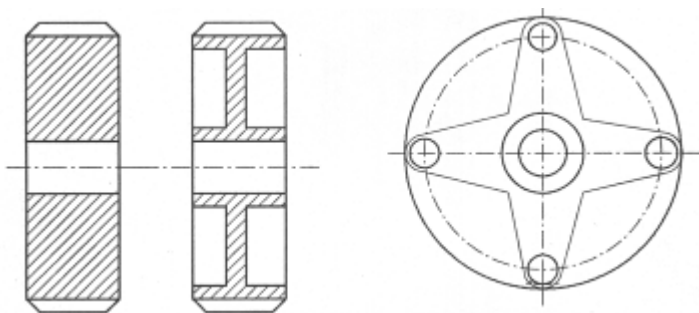
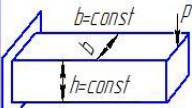
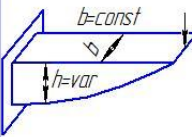
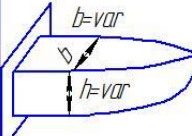
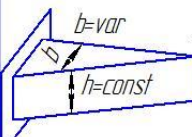


Рис. 3.5. Облегшення шестерні та фланцю

Виграш у масі від застосування принципу рівномірності залежить від типу навантаження і способу надання рівномірності (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Маса та жорсткість рівномісних консольних балок [4]

Ескіз	Маса, m	Прогин, f	Питома жорсткість, m/f
 <i>Вихідна конструкція</i>	1	1	1
	0.66	2	0.33
 <i>$h/b = \text{const}$ (подібні перетини)</i>	0.6	1.8	
	0.5	1.5	

3.4. Вплив діаметрів на ефективність об'легшення конструкцій

Проаналізуємо ефективність зменшення маси деталей за рахунок зменшення розмірів на різних діаметрах.

На рис. 3.6, а приведено диск з ободом і маточиною.

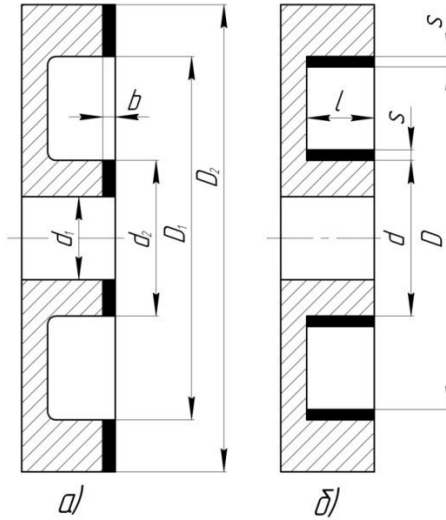


Рис. 3.6. Облегшення дискових деталей

Визначимо вигравш у масі за умови видалення ділянок металу однакової ширини b на ободі та маточині.

Об'єм металу, який знімається з ободу:

$$V_1 = 0,785bD_2^2 \left[1 - \left(D_1/D_2 \right)^2 \right]. \quad (3.3)$$

Об'єм металу, який знімається з маточини:

$$V_2 = 0,785bd_2^2 \left[1 - \left(d_1/d_2 \right)^2 \right]; \quad (3.4)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{D_2^2}{d_2^2} \cdot \frac{1 - \left(D_1/D_2 \right)^2}{1 - \left(d_1/d_2 \right)^2}. \quad (3.5)$$

За умови, що товщина стінок обода та маточини однакова і $D_1/D_2 = 0,8$. Тоді за умови співвідношення $d_1/d_2 = 0,5$ (що відповідає рис. 3.6, а) формула (3.5) набуде вигляду:

$$\frac{V_1}{V_2} = 0,5 \left(\frac{D_2}{d_2}\right)^2. \quad (3.6)$$

При $\frac{D_2}{d_2} = 3$ співвідношення $\frac{V_1}{V_2} = 4,5$.

На рис. 3.6, б подано схему зменшення маси за рахунок видалення кільцевих об'ємів однакової товщини з різних діаметрів. У даному випадку об'єм, який знімається з обода: $V_1 \approx \pi D a l$, об'єм, який знімається з маточини: $V_1 \approx \pi d a l$. Тоді співвідношення: $V_1/V_2 = D_1/D_2$, тобто прямо пропорційні відношенню діаметрів.

Висновок: вигреш від видалення металу на різних діаметрах залежить від способу об'ємного і конфігурації деталі. Залежність його від діаметру коливається в межах від D/d до $(D/d)^2$.

3.5. Вплив галтелей, скосів і конусів на масу конструкції

Вузли до складу яких входять деталі з галтелями, скосами та деталі конусної форми рекомендується об'ємного за рахунок збільшення радіусів спряження стінок деталей (наданням плавних обрисів). На рис. 3.7 наведено приклади можливого зменшення маси спряжень.

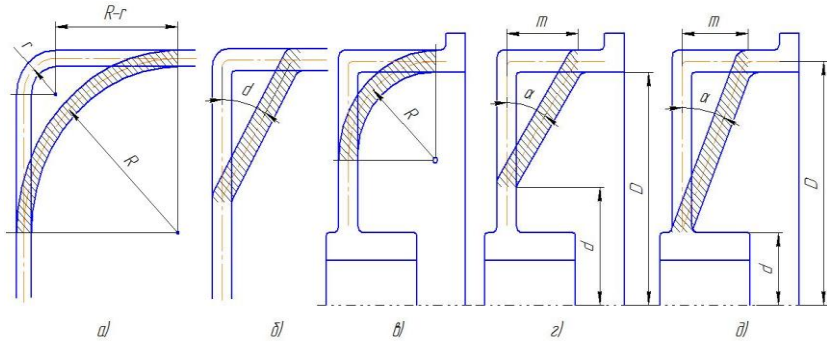


Рис. 3.7. Приклади зменшення маси спряжень

На рис. 3.7, а наведено схему спряження деталей під кутом 90° . З метою зменшення маси даної конструкції збільшено радіус галтелі. Оцінити вигравш від збільшення радіусу галтелі можна наступним чином:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{1 - \frac{r}{R} \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}, \quad (3.7)$$

де r , R – початковий та збільшений радіуси галтелі;
 m , m_0 – маси спряжень.

Якщо галтель відсутня $r=0$, а $\frac{m}{m_0}=0,785$. Бачимо, що зменшення маси металу становить приблизно 20%.

Розглянемо схему, подану на рис. 3.7, б. Маємо відношення маси m удосконаленого (скошеного) з'єднання до маси m_0 з'єднання під прямим кутом :

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sin\alpha + \cos\alpha}. \quad (3.8)$$

Мінімальним значення $\frac{m}{m_0}$ буде за умови, що $\alpha = 45^\circ$.
 $\frac{m}{m_0} = 0,71$. За цієї умови зменшення маси становить приблизно 30%.

На рис. 3.7, в-д подано схеми, які розкривають суть способів об'легшення спряжень циліндричних тіл, які містять плоску стінку. Спосіб зменшення маси у даному випадку реалізується за рахунок введення галтелей та скосів на ділянках спряження. Крім того, плоска стійка в наведених конструкціях замінена на конусну.

За рахунок введення галтелі зменшення маси можна оцінити наступним чином:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1-R/D}{2-R/D}, \quad (3.9)$$

де D – діаметр обичайки.

Порівнянням з прямокутним спряженням, для якого $R=0$ і $\frac{m}{m_0} = \frac{\pi}{4} = 0,785$, маємо зменшення металомісткості на 20%.

Зменшення маси за рахунок заміни плоскої стінки конусом становить:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\cos\alpha + \frac{2\sin\alpha}{1+d/D}}. \quad (3.10)$$

Зауваження: конусоподібні форми не рекомендується застосовувати для деталей, які обертаються з високими швидкостями. Це пояснюють тим, що відцентрові сили викликають складний просторовий згин кінцевого диску [3].

3.6. Екструзія профілів

Ще один напрямок конструювання об'легшених виробів – розробка та впровадження нових способів виробництва, що ведуть до економії матеріалу. Спосіб виробництва впливає на конструкцію різними шляхами. Прийнята технологія визначає коефіцієнт використання матеріалу, який показує масу готових виробів, вироблених з однієї тонни матеріалу.

Наприклад, у 20-х роках минулого століття перехід від клепананих виробів до зварювання дозволило зекономити від 15 до 20% сталі. Приблизно таку ж економію можна отримати внаслідок заміни гарячекатаних сталевих профілів на облегшені.

Багато нових можливостей дають також методи гідравлічного пресування, дистанційної ковки, штампування, валцовки, фрикційного зварювання та інші. В середньому вірний вибір способу виготовлення заготовок (деталей) дає можливість отримати економію металу від 20 до 50%.

Великі можливості облегшення деталей забезпечує процес екструзії.

Екструзія представляє собою безперервний технологічний процес, в результаті якого готові вироби отримують шляхом нагнітання розплавленого матеріалу через формуючий інструмент (фільеру, екструзійну голівку, отвір). Матеріал, який використовується в процесі екструзії, характеризується високим рівнем в'язкості, а вироби отримують із поперечним перерізом потрібної форми.

Екструзію, іншими словами, можна охарактеризувати як комплексний фізико-хімічний процес, що протікає під впливом механічних зусиль, високої температури та вологості.

На рис. 3.8 подано схему та фото екструдера.

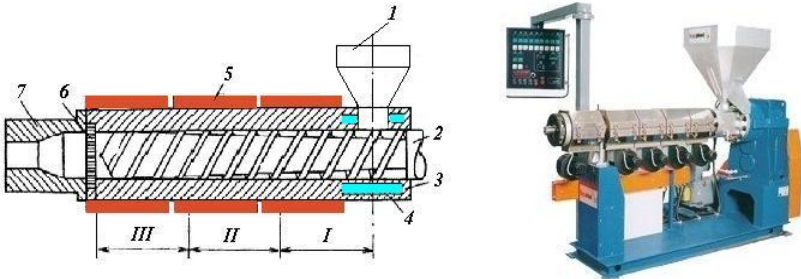


Рис. 3.8. Екструдер: 1 – бункер, 2 – шнек, 3 – циліндр, 4 – порожнина для циркуляції води, 5 – нагрівач, 6 – решітка, 7 – формоутворююча голівка. Фази процесу: I – подача матеріалу, II – нагрів, III – стиск

На рис. 3.9 подано фото деталей машинобудівних конструкцій, отриманих із застосуванням методу екструзії.

Із застосуванням даного методу виготовляють вироби з неметалевих матеріалів, сплави алюмінію, жаростійких сплавів на основі нікелю, кобальту.

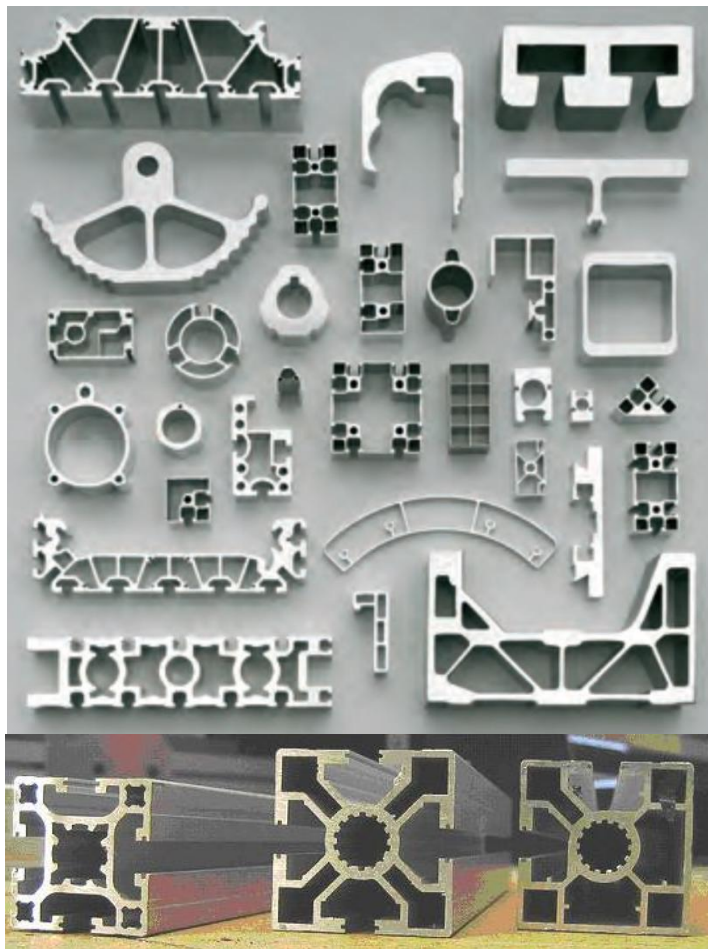


Рис. 3.9. Машинобудівельні профілі, отримані методом екструзії

3.7. Вплив силової схеми на масу конструкцій

Один з основних способів зменшення маси – раціональне навантаження деталей з максимальним використанням їхніх матеріалів. На рис. 3.10 наведено приклад використання матеріалу при різних видах навантаження деталей круглого перерізу. Величина напружень умовно показана грубою лінією.

За умови згину переріз працює в основному крайніми точками, розташованими в площині діючої сили. По мірі наближення до нейтральної осі перерізу напруження зменшуються практично до нуля. У випадку кручення всі точки периферії навантажені практично однаково. Напруження у кільцевих перерізах зменшуються по мірі наближення до центру, де вони стають рівними нулю.

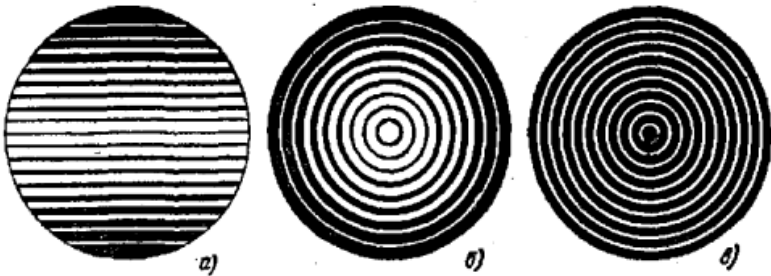


Рис. 3.10. Розподіл напружень у циліндричних перерізах:
а – згин, б – кручення, в – розтяг-стиск

Як видно з рис. 3.10, в для випадку дії деформації розтяг (стиск) всі точки перерізу працюють при однакових напруженнях, тобто матеріал використовується найбільш повно.

Висновок: у ході конструювання машинобудівних виробів по можливості потрібно замінювати згин на розтяг (стиск). За умови, що така заміна неможлива негативний вплив згинального навантаження на конструкцію зменшують наступними конструктивними прийомами:

- розподіляти матеріал по перерізу з урахуванням розподілу напружень;

- зменшення згинального моменту за рахунок зміцнення плеча сили згину (зменшення прольотів між опорами);
- по можливості не використовувати консольну схему розташування опор.

У деталях (вузлах), які працюють на розтяг (стиск), внаслідок асиметрії перерізів, позакентрового прикладання навантаження або криволінійності форми часто проявляється згин.

Розглянемо рис. 3.11 на якому зображено брус з позакентровим прикладанням навантаження. Брус прямокутного перерізу ax b , до якого прикладено силу F . Конструкція бруса передбачає виборку матеріалу шириною $an(n=0-1)$.

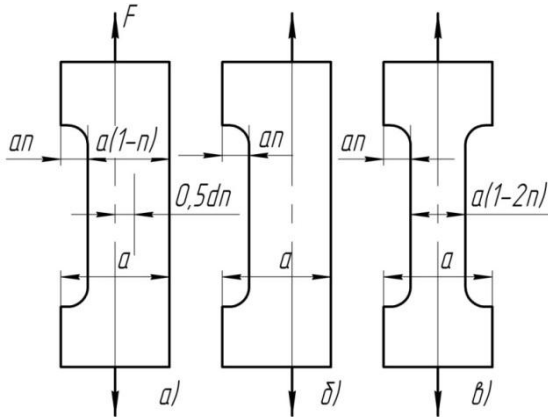


Рис. 3.11. Напруження за умови позакентрового розтягу

Максимальне напруження σ розриву, яке виникає у середньому перерізі бруса дорівнює сумі напружень розриву від дії сили F і згинального моменту $0,5 Fan$.

$$\sigma = \frac{F}{ab(1-n)} + \frac{0,5 \cdot 6Fan}{ba^2(1-n)^2}. \quad (3.11)$$

За умови, що сила F прикладена по центру середнього перерізу (рис. 3.11, б) напруження у середньому перерізі визначиться:

$$\sigma_1 = \frac{F}{ab(1-n)}. \quad (3.12)$$

На рис. 3.12 подано графіки зміни напружень залежно від відносної ширини вибраного матеріалу. Для побудови використано співвідношення: $\frac{\sigma}{\sigma_1} = 1 + \frac{3n}{1-n}$.

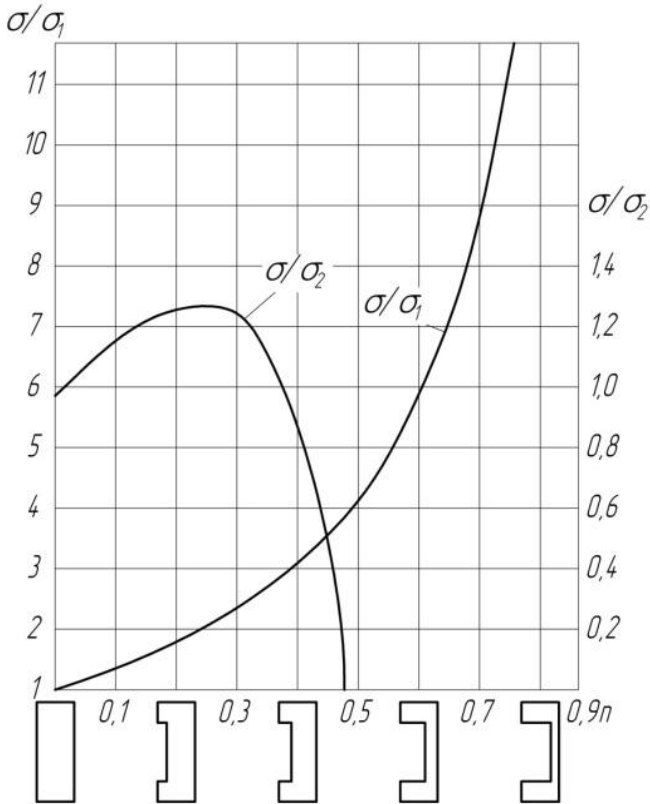


Рис. 3.12. Зміна напружень залежно від відносної ширини вибраного матеріалу

За умови, що матеріал вибрано симетрично з двох боків брусу (рис. 3.11, в) напруження визначиться:

$$\sigma_2 = \frac{F}{ab(1-2n)}. \quad (3.13)$$

Для цього випадку відношення $\frac{\sigma}{\sigma_2} = \frac{1-2n}{1-n} + \frac{3n(1-2n)}{(1-n)^2}$ наведено на рис. 3.12. Бачимо, що вибір матеріалу симетрично з двох боків забезпечує підвищення міцності.

3.8. Вплив силових схем. Багатопотокові схеми

Найбільші можливості зменшення маси закладаються в застосуванні раціональних конструктивних схем з найменшим числом деталей та найбільш вигідним силовим потоком. Скорочення числа ланок сприяє зменшенню маси вузлів та агрегатів.

Маса конструкції також залежить від силової схеми (способу сприйняття та замикання діючих у конструкції навантажень). Силова схема рахується раціональною, якщо сили замикаються на короткій ділянці елементами, які працюють переважно на розтяг (стиск).

Пояснимо вплив силової схеми на масу на прикладі, який подано на рис. 3.13. У зубчастих передачах з проміжним колесом розташування колеса суттєвим чином впливає на навантаження, яке діє на опори валів.

На рис. 3.13 шестерня 1 – ведуча та обертається за годинниковою стрілкою. Розташування проміжного колеса правіше від осі передачі (a) є недоцільним. Сили F приводу, що діють на проміжне колесо 2, сумуються і дають силу R , яка навантажує опори колеса.

За умови розташування проміжного колеса зліва (b) сили F додаються та при цьому, у значній мірі, гасять одна одну. Результуюча R суттєво зменшується.

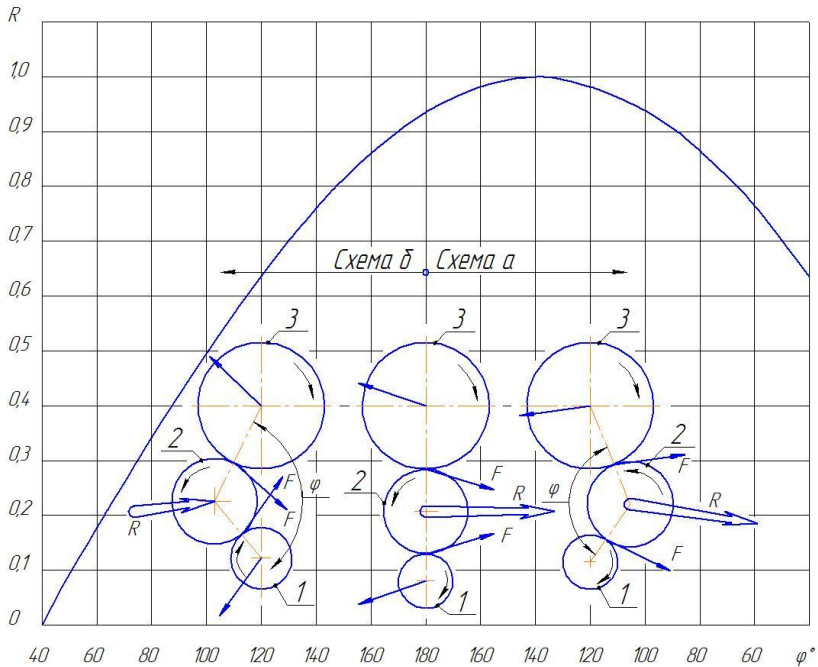


Рис. 3.13. Схеми приводів з проміжним зубчастим колесом

Результуюча сила в обох випадках залежить від величини кута φ між лініями, які з'єднують центри зубчастих коліс 2-3 і 2-1.

Результуюча сила визначиться:

- схема а:

$$R = 2F \cdot \sin(\varphi/2 + \alpha). \quad (3.14)$$

- схема б:

$$R = 2F \cdot \sin(\varphi/2 - \alpha), \quad (3.15)$$

де F – колове зусилля на ведучому колесі;

α – кут зачеплення (для стандартного зачеплення 20°).

З графічної залежності, поданої на рис. 3.13 бачимо, що така проста конструктивна міра, як перенос проміжного колеса з одного

боку на інший, може забезпечити перевагу у силовій схемі передачі та зменшення величини діючих на конструкцію сил.

Виграш за масою можна також отримати застосовуючи багато потокові схеми, тобто схеми з розділенням силового потоку на декілька паралельних гілок.

Передача крутного моменту через декілька зубчастих коліс, які працюють паралельно (каскадні, планетарні передачі), зменшує навантаження на зубці пропорційно числу потоків та розвантажує опір центрального колеса від радіальних зусиль привода.

Питання для самоперевірки та повторення

1. Основні напрямки вирішення проблеми матеріало- та металоемкості.

2. Критерії оцінювання масо-або металоемкості машин.

3. Яким чином розподіляються напруження за умови дії згинальних зусиль, крутного моменту і складних напружених у круглих перерізах?

4. Яким чином збільшення відносного розміру зовнішніх діаметрів з одночасним введенням внутрішніх порожнин та отворів впливає на міцність, жорсткість і масу деталей?

5. Які деталі називають рівноміцними?

6. До чого зводиться конструювання рівноміцних деталей?

7. Якими способами можна облегшити деталь за умови збереження рівноміцності?

8. Яким чином на масу конструкцій впливають галтелі?

9. Яким чином оцінюють виграш в масі від збільшення радіусу галтелі?

10. Для яких деталей не рекомендується застосовувати конусоподібні форми?

11. Розкрийте суть процесу екструзії.

12. Наведіть схему екструдера.

13. З яких матеріалів виготовляють деталі методом екструзії?

Тестові питання

1. Оберіть вірний вираз для визначення питомої металомісткості

$$-\vartheta = \frac{V}{N} = \frac{\sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \dots + \sum \frac{m_n}{\gamma_n}}{N}$$

$$-\vartheta = \frac{V}{N} = \frac{\sum \frac{m}{\gamma_1}}{N}$$

$$-\vartheta = \frac{N}{V} = \frac{N}{\sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \dots + \sum \frac{m_n}{\gamma_n}}$$

$$-\vartheta = \frac{V}{N} = \frac{\sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \dots + \sum \frac{m_n}{\gamma_n}}{N}$$

$$-\vartheta = \frac{V}{N} = \frac{\sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \sum \frac{m_1}{\gamma_1} + \dots + \sum \frac{m_n}{\gamma_n}}{N}$$

2. Оберіть вірний вираз для визначення коефіцієнту використання об'єму

$$-\delta = \frac{1}{\vartheta}$$

$$-\delta = \frac{m}{\vartheta}$$

$$-\delta = \tau \rho$$

$$-\delta = \epsilon \epsilon_N$$

$$-\delta = \frac{1}{\vartheta n}$$

3. Оберіть вірне закінчення твердження: «Деталь називають рівномірною за умови що...»

- напруження у кожному перерізі є однаковими
- площа перерізу не змінна
- напруження змінюються за нульовим циклом
- у поперечному перерізі діють лише розтягуючі сили
- деталь має прямолінійний обрис

4. Як впливає на міцність і жорсткість деталі збільшення відносного розміру зовнішніх діаметрів з одночасним введенням внутрішніх порожнин та отворів?

- показники міцності та жорсткості зростають при одночасному зменшенні маси деталі
- показники міцності та жорсткості зменшуються при одночасному зменшенні маси деталі
- показники міцності та жорсткості зростають при одночасному зростанні маси деталі

- показники міцності та жорсткості зменшуються при одночасному зростанні маси деталі

- не впливають

5. Від чого залежить вигреш у масі від застосування принципу рівноміцності?

- від типу навантаження і способу надання рівноміцності

- від відстані між лінією дії сили та нейтральною віссю

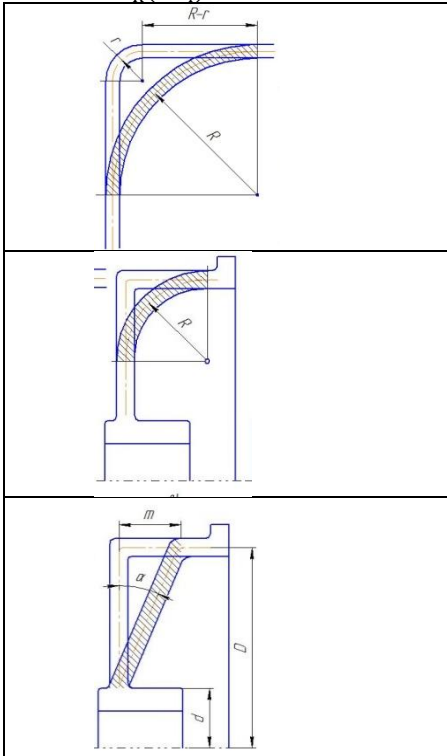
- від конфігурації небезпечного перерізу

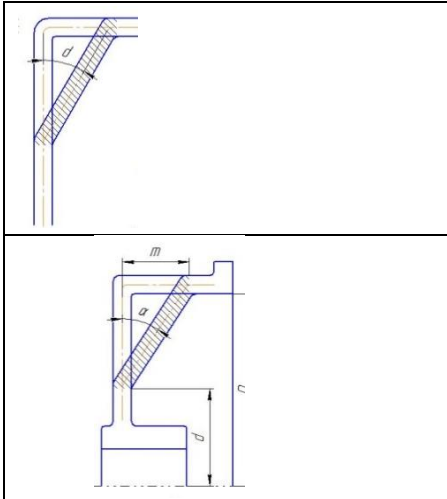
- від способу передачі руху

- від кількості вузлів у машині

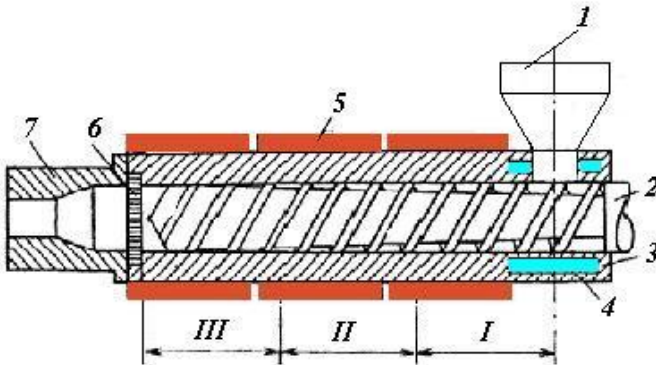
6. Для якої схеми вигреш від збільшення радіусу галтелі можна оцінити за наведеною залежністю:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{1 - \frac{r}{R} \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)} \cdot ?$$





7. Якими позиціями позначено бункер, нагрівач, шнек?



- 1, 5, 2
- 2, 3, 4
- 1, 4, 5
- 7, 6, 2
- 1, 5, 4

8. Закінчіть вираз: «Застосовуючи багатопотокові схеми можна ...»

- отримати виграш потужності

- отримати виграш у силі
- отримати виграш за масою
- отримати раціональну конструкцію вузла
- отримати мінімальний об'єм деталі

9. За яких умов силова схема рахується раціональною?

- якщо сили замикаються на короткій ділянці елементами, які працюють переважно на розтяг (стиск)

- якщо сили замикаються на прямій ділянці елементами, які працюють переважно на розтяг (стиск)

- якщо сили замикаються на короткій ділянці елементами, які працюють переважно на згин

- якщо сили замикаються на прямій ділянці елементами, які працюють переважно на згин

- якщо сили замикаються на елементарній ділянці елементами, які працюють переважно на згин

10. За умови прикладання якого навантаження переріз деталі працює в основному крайніми точками?

- сили згину
- сили стиску
- сили розтягу
- сили зсуву
- крутного моменту.

ТЕМА 4. ВТОМНА МІЦНІСТЬ

План викладу матеріалу

- 4.1. *Етапи розвитку втомного руйнування*
- 4.2. *Цикли напружень*
- 4.3. *Вплив характеру навантажень на межу витривалості*
- 4.4. *Концентрація напружень*
- 4.5. *Розмірний фактор*
- 4.6. *Підвищення циклічної міцності*
- 4.7. *Конструювання циклічно навантажених деталей*

4.1. Етапи розвитку втомного руйнування

Причиною, що викликала початок досліджень втомної міцності у першій половині XIX століття, став прояв руйнувань колісних пар залізничних вагонів. Самими ранніми дослідженнями втомної міцності металевих матеріалів були дослідження В.А. Альберта (Німеччина), які були виконані у 1829 році [4]. Альберт досліджував ланки ланцюгів для підйомників, які використовували для підняття руди. Термін «втома» було введено у 1839 році французьким вченим Ж.-В. Понселе, який виявив зменшення міцності сталевих конструкцій під час впливу циклічних напружень.

Значний вклад у розвиток теорії втомних руйнувань вніс Альберт Велер, який досліджував залежність між максимальними нормальними напруженнями за умови симетричного згину і числом циклів до руйнування. Дану залежність називають кривою Велера та використовують для проведення проектно-конструкторських розрахунків.

Втома – процес поступового накопичення пошкоджень матеріалу під впливом змінних напружень, що призводить до зміни властивостей, утворенню тріщин, їхнього розвитку та руйнування.

Накопичення пошкоджень починається задовго до остаточного руйнування, протікає непомітно. Втомене руйнування, за статистикою, є причиною близько 80% руйнувань виробів машинобудування. Тому проблема втомної

міцності є важливою в сенсі підвищення надійності та довговічності машин.

Циклічні навантаження, які є причиною втомного руйнування, найбільше проявляються у поршневих машинах, кулачкових механізмах, валах зубчастих, пасових, ланцюгових передач, підшипниках кочення, тощо.

Число циклів навантаження, які матеріал витримує до руйнування, залежить від максимального напруження і інтервалу між крайніми значеннями напружень циклу. За умови зменшення величини напружень число циклів, які приводять до руйнування, збільшується та при деякому достатньо малому напруженні набуває доволі великого значення, яке називається межею втомної міцності. Величина межі втомної міцності встановлюють шляхом побудови кривих втоми (кривих Велера) [5] (рис. 4.1).

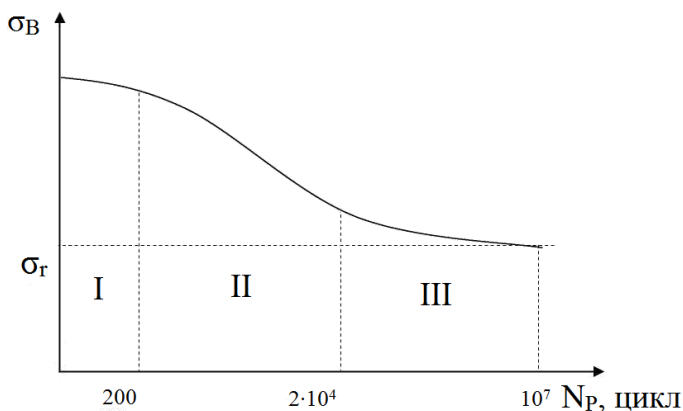


Рис. 4.1. Приклад кривої Велера

Крива втоми описує залежність між максимальними напруженнями і кількістю циклів до руйнування N_p . На кривій Вілера розрізняють три основні ділянки: I-руйнування відбувається внаслідок спрямованого пластичного деформування до величини граничної деформації, яка приблизно дорівнює граничній деформації при статичному навантаженні. На ділянці II руйнування відбувається після

відносно невеликої кількості циклів навантаження ($N_p \leq 2 \cdot 10^4$ циклів) і ріст втомної тріщини супроводжується суттєвими пластичними деформаціями. Такий вид руйнування називається руйнуванням від малоциклової втоми. На ділянках II і III руйнування відбувається внаслідок зародження і розвитку втомної тріщини.

Ділянку II називають ділянкою малоциклової втоми; III – ділянкою багатоциклової втоми, або просто втоми.

Розвиток втомного руйнування схематично представлено на рис. 4.2.

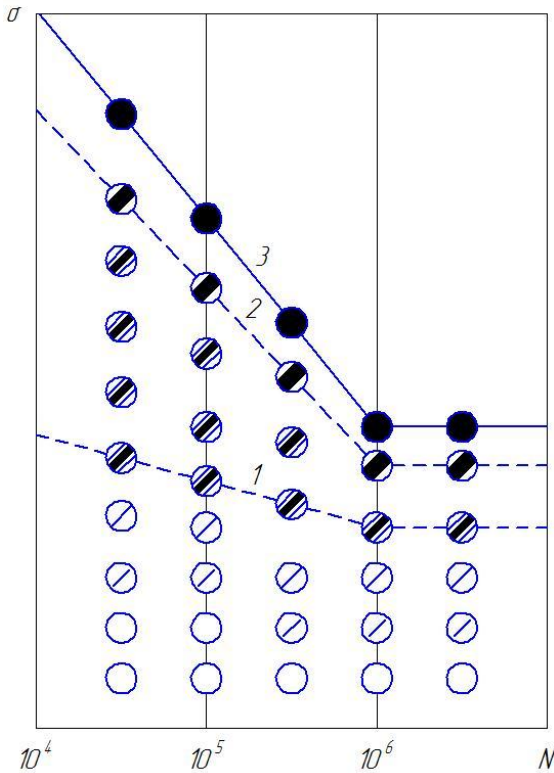


Рис. 4.2. Розвиток втомного руйнування

На початку процесу розвитку втомного руйнування в окремих кристалічних об'ємах виникають пластичні зсуви, які неможливо виявити звичайними експериментальними методами. З підвищенням числа циклів і рівня напружень зсуви охоплюють все більші об'єми і переходять у субмікроскопічні зсуви, які можна спостерігати з допомогою електронного мікроскопу (кола зі штрихами). Після проходження певної кількості циклів напружень (крива 1) утворюється багато тріщин, які можна бачити під оптичним мікроскопом (заштриховані кола). Початок утворення тріщин, які можна виявити металографічним методом умовно рахують порогом утворення тріщин.

Мікро тріщини тривалий час можуть залишатись у межах кристалічних об'ємів (тріщини які не розповсюджуються) та не впливати на міцність виробу.

За умови наближення напружень до межі витривалості розвиток тріщин вступає у критичну фазу (крива 2). На цьому етапі мікротріщини ростуть (явище розпирання тріщин), і перетворюються у макротріщини, які приводять до руйнування виробу (чорні кола на кривій 3). Практична межа завантаженості лежить дещо нижче кривої 2, яка залежно від властивостей кристалічної будови металу відповідає напруженням, що дорівнюють 0,8-0,9 руйнівного напруження. Приклад втомного руйнування кілець підшипників подано на рис. 4.3.

4.2. Цикли напружень

У сучасному машинобудуванні практично немає деталей та вузлів, які б працювали за умови статичного навантаження. З урахуванням цього розглянемо характер зміни напружень в часі. Напруження змінюються циклічно за різними законами. *Цикл* характеризується однократною зміною напружень, які проходять неперервний ряд значень. Час протікання одного циклу називається *періодом*.

Розрізняють наступні цикли напружень (табл. 4.1).

Цикли змінних напружень характеризуються наступними параметрами:

1. Амплітуда напружень циклу – $\sigma_a(\tau_a)$;
2. Мінімальне напруження циклу – $\sigma_{min}(\tau_{min})$;
3. Максимальне напруження циклу – $\sigma_{max}(\tau_{max})$;
4. Середнє напруження циклу – $\sigma_m = 0,5(\sigma_{min} + \sigma_{max})$ або $\tau_m = 0,5(\tau_{min} + \tau_{max})$;
5. Коефіцієнт асиметрії циклу – $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ або $\frac{\tau_{min}}{\tau_{max}}$.

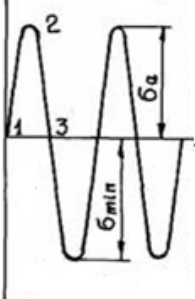
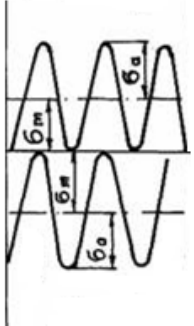
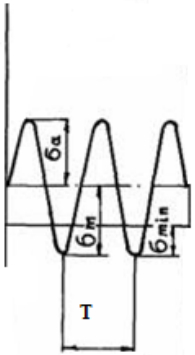
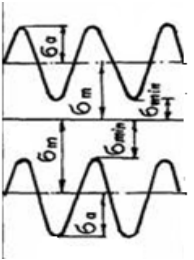


Рис. 4.3. Приклад прояву втомного руйнування

У ході виконання розрахунків на втомну міцність потрібно знати величину межі витривалості (втоми) – σ_R . Межа витривалості не є постійною величиною та визначається, наприклад для симетричного циклу змінних напружень: $\sigma_R = \sigma_{-1} = \sigma_{max} = \sigma_a + \sigma_m = \sigma_a$.

Таблиця 4.1

Цикли змінних напружень

Назва циклу	Вид зміни напружень		
Знакозмінний симетричний	 $\sigma_{max} = -\sigma_{min}$ $\sigma_m = 0$ $\sigma_a = \sigma_{max}$ $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ $R = -1$	Віднульовий	 $\sigma_{min} = 0$ $\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{max}}{2}$ $R = 0$
Знакозмінний асиметричний	 $\sigma_{max} > 0$ $\sigma_{min} < 0$	Знакопостійний симетричний	$\sigma_{max} > 0$ $\sigma_{min} > 0$  $\sigma_{max} < 0$ $\sigma_{min} < 0$

Згідно з експериментальними даними, для деяких матеріалів існує певне співвідношення між границями витривалості [4]:

- для сталей $\sigma_{-1p} = 0,7\sigma_{-13г}$, $\tau_{-1} = 0,55\sigma_{-13г}$;
- для чавуну: $\sigma_{-1p} = 0,65\sigma_{-13г}$, $\tau_{-1} = 0,8\sigma_{-13г}$.

Необхідно зазначити, що границя витривалості, як і інші механічні характеристики, залежить від матеріалу, типу деформації, температури проведення випробувань. Крім того, значення σ_R залежать від специфічних для явища втомленості факторів, таких як асиметрія циклу, а для реальних деталей ще й від концентраторів напружень; розмірів поперечних перерізів деталі; якості обробки її поверхні; умов роботи деталі.

4.3. Вплив характеру навантажень на межу витривалості

На межу витривалості впливає також частота циклів і швидкість зміни напружень у межах циклу. Зі збільшенням числа циклів за одиницю часу циклічна міцність підвищується, особливо це проявляється при частоті понад 1000 циклів за хвилину. Для деяких видів навантаження встановлено залежність:

$$N = A\sqrt{\mu}, \quad (4.1)$$

де A – коефіцієнт чутливості матеріалу до швидкості деформації;

N – число циклів до руйнування;

μ – частота циклів.

Збільшення межі витривалості зі збільшенням частоти циклів можна пояснити тим, що пластичні деформації протікають з незначною швидкістю на відміну від пружних. Підвищення частоти циклів подавляє пластичні деформації у мікрооб'ємах металу, які передують появі втомних тріщин. За умови дії певного циклу навантажень проявляється ефект закриття втомних тріщин. Суть даного ефекту полягає у тому,

що втомна тріщина може залишитися закритою через змикання її країв поза верхівкою на протязі певної кількості циклів. На рис. 4.4 подано схеми розкриття тріщини.

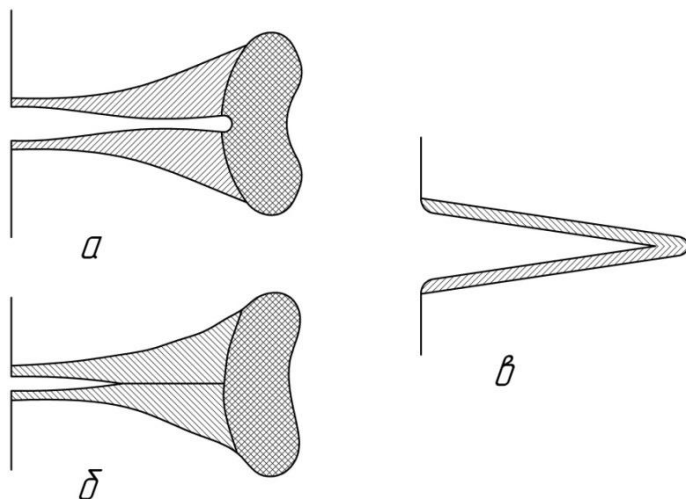


Рис. 4.4. Схеми розкриття – закриття країв втомної тріщини

Як встановлено В. Елбером [6], закриття країв тріщини відбувається внаслідок наявності остаточних пластичних деформацій, так як під час розвантаження краї тріщини можуть закритись раніше, ніж настане повне зняття навантаження. Такий процес закриття тріщин характерний для пластичних металів і сплавів, які використовують в умовах плоского напруженого стану (рис. 4.4, а, б).

Закриття втомних тріщин також може пояснюватись накопиченням залишкових пластичних деформацій біля її країв поза її верхівкою. За умови зменшення навантаження на виріб, в матеріалі якого почали утворюватись втомні тріщини, краї тріщин, у яких діють стискаючі напруження, змикаються. За умови подальшого розвантаження краї розриваються, утворюються нові ділянки, які схильні до взаємодії з навколишнім середовищем.

Внаслідок багатократного повторювання такого циклу на зламах формується окисні плівки, які в подальшому вдавлюються в метал та сприяють закриттю тріщин (рис. 4.4, в).

Закриття втомних тріщин може також проявлятися внаслідок шорсткості їхніх поверхонь за умови прояву деформації зсуву на вершині тріщини, т.т. зсуву її границь.

4.4. Концентрація напружень

Під концентрацією напружень, зазвичай, розуміють різке підвищення напружень в обмеженому об'ємі навантаженого тіла. Напруження в зоні концентрації називаються місцевими. Явище концентрації напружень спостерігається при усіх видах деформування. Концентрація напружень з'являється в зонах різких змін форми тіла або в зонах контакту деталей. Концентраторами напружень на практиці є виточки (рис. 4.5, а), отвори (рис. 4.5, б), галтелі (рис. 4.5, в), шпонкові та шліцьові канавки, нарізки на поверхні та інше.

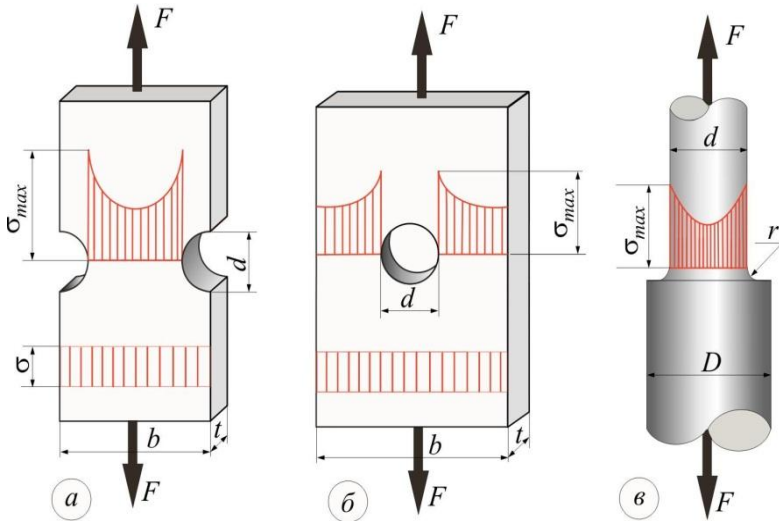


Рис. 4.5. Приклади концентраторів напружень

Концентрація напружень у металевих матеріалах, пов'язана з надрізами, канавками, отворами або іншими дефектами, як правило, приводить до зменшення межі витривалості. Необхідно відзначити, що втомна тріщина сама по собі є надрізом, викликає високу концентрацію напруження. Степінь підвищення напруження залежить, в першу чергу, від виду і форми послаблення. Чим більше перепад перерізів на ділянці переходу і чим більш різка зміна форми або параметру перерізів тим вищі місцеві максимальні напруження (рис. 4.6, 1).

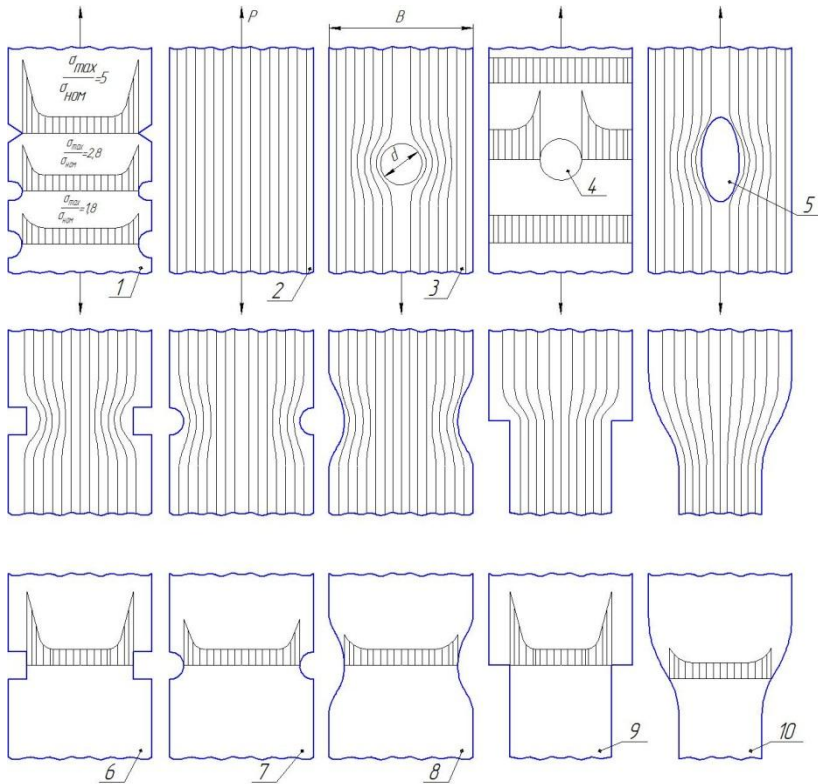


Рис. 4.6. Схеми концентрації напружень

На рис. 4.6 на брус 2 діє розтягуюча сила F при цьому навантаження рівномірно розподіляється по перерізу. У кожній точці перерізу навантаження передається силами внутрішніх зв'язків матеріалу сусіднім точкам.

Траєкторії передачі навантаження від точки до точки тіла деталі називають силовими лініями, які є неперервними. Щільність розташування силових ліній визначає величину напружень. Якщо переріз деталі зменшується, наприклад, через наявність центрального отвору, то щільність силових ліній і напруження збільшуються. Даний факт можна оцінити номінальним розрахунком на міцність небезпечного перерізу деталі. Як бачимо з рис. 4.6, силові лінії огинають отвір, викривляються, та прагнучи замкнутись скупчуються біля отвору. Волокна, які розтягуються одночасно згинаються та скупчуються ближче до центру отвору вигинаючи його контур (отвір набуває овальної форми). На волокнах, розташованих біля отвору, виникають напруження розриву, які додаються до напружень розтягу. Напруження будуть максимальними біля стінок отвору, де кривина силових ліній максимальна та будуть зменшуватись з віддаленням від отвору.

Вплив концентраторів напружень на межу витривалості враховується теоретичним коефіцієнтом концентрації напружень:

$$\begin{cases} \alpha_0 = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_H} \\ \alpha_0 = \frac{\tau_{max}}{\tau_H} \end{cases} \quad (4.2)$$

де σ_{max}, τ_{max} – максимальне напруження біля вершини концентратора,

σ_H, τ_H – номінальне напруження.

Теоретичний коефіцієнт концентрації залежить від геометрії концентратора і не відображає властивостей матеріалів.

При навантаженні пластичних матеріалів в зоні концентратора напруження σ_{\max} досягають σ_T (напруження текучості матеріалу), внаслідок чого матеріал починає пластично деформуватись, що спричиняє перерозподілення (вирівнювання) напружень і зменшення α_0 .

Тому границя міцності зразка з концентратором напружень і без нього у пластичних матеріалів майже однакова. Пластичні матеріали вважають нечутливими до концентрації напружень при статичному навантаженні.

У крихких матеріалів пластичні деформації не виникають, через це перерозподіл напружень не відбувається. Концентрація напружень зберігається до руйнування матеріалу. Тому при розрахунку деталей із крихких матеріалів її необхідно враховувати.

Для оцінки реального впливу концентрації на міцність матеріалу вводиться ефективний коефіцієнт концентрації $K_\sigma(K_f)$, який дорівнює відношенню руйнівного навантаження зразка без концентратора F_f до руйнівного навантаження зразка з таким же перерізом з концентратором напружень F_{fK}

$$K_\sigma = \frac{F_f}{F_{fK}}. \quad (4.3)$$

Для пластичних матеріалів $K_\sigma = 1$, для крихких $K_\sigma \cong \alpha_\sigma$.

Коефіцієнт чутливості до концентрації напружень

$$q_\sigma = \frac{K_\sigma - 1}{\alpha_\sigma - 1}. \quad (4.4)$$

Звідси $K_\sigma = 1 + q_\sigma(\alpha_\sigma - 1)$.

K_σ – знаходиться за таблицею довідників, або розраховується за даними α_σ і q_σ , які беруться з довідників.

Концентрація напружень як для пластичних, так і для крихких матеріалів є небезпечною при циклічному

навантаженні, тому що в зоні концентратора виникають тріщини, що приводять до втомного руйнування матеріалів.

При наявності в перерізі деталі кількох концентраторів, наприклад, посадка втулки з натягом на вал у зоні шпоночного пазу, в розрахунках береться до уваги тільки більший ефективний коефіцієнт концентрації напружень. Це пояснюється тим, що в такому випадку процеси утворення та розвитку тріщини від втомленості відбуваються в першу чергу в зонах з найбільшими напруженнями. Цей факт підтверджується експериментами.

Відомим засобом зменшення концентрації напружень є надання переходам плавних обрисів. Значний ефект дають також деконцентратори напружень – додаткові послаблення, які наносять біля основного концентратора (рис. 4.7).

Важливе значення має розташування деконцентраторів. Вони повинні випрямляти силові лінії та виключати з силового потоку ділянки, суміжні з концентратором напружень.

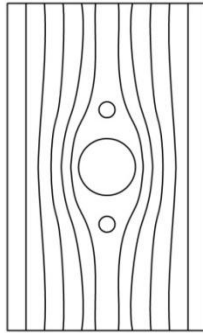


Рис. 4.7. Схема деконцентраторів

Напруження в зоні концентратора напружень (рис. 4.8, *а*) можна також зменшити шляхом загального (рис. 4.8, *б*) або місцевого підсилення (рис. 4.8, *в*).

Ефективним також є спосіб створення у зоні послаблення попередніх напружень стиску. Деякі види обробки (поверхневе загартування з індукційним нагрівом) практично повністю нівелюють концентрацію напружень.

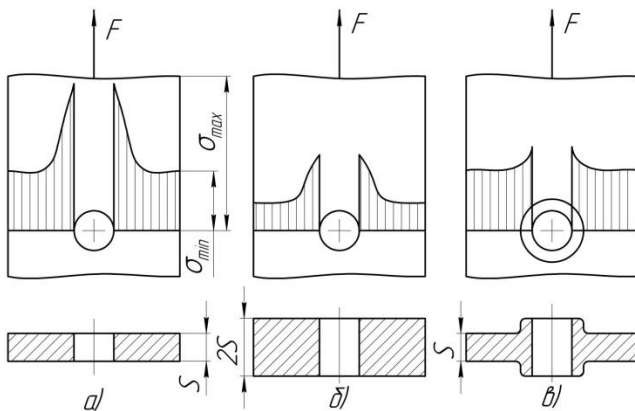


Рис. 4.8. Зменшення максимальних напружень у зоні концентратора напружень

4.5. Розмірний фактор

Зі збільшенням розмірів виробу його межа витривалості зменшується. Вплив розмірів на межу витривалості характеризується розмірним коефіцієнтом (коефіцієнтом масштабного фактора), який являє собою відношення межі витривалості σ зразка даних розмірів до межі витривалості лабораторного зразка σ_0 малих розмірів ($d=5-10$ мм) з того ж матеріалу:

$$\varepsilon_k = \frac{\sigma}{\sigma_0}. \quad (4.5)$$

Причини прояву масштабного фактора наступні:

- технологічні: погіршення структури та властивостей поверхневого шару у ході механічної обробки крупногабаритних деталей;
- металургійні: погіршення якості заготовки за збільшенням її розмірів (дефекти литва, ковки, тощо);
- випадкові: прояв дефектів у структурі зразків великих розмірів.

4.6. Підвищення циклічної міцності

Загальні закономірності циклічної міцності повинні враховуватись у ході конструювання деталей машин. Знання даних закономірностей дозволяє запобігти конструкторських помилок навіть без проведення значної кількості конструкторських розрахунків. Нижче розглянемо способи виключення (зменшення циклічних навантажень).

Відомими є два способи підвищення втомної міцності:

- технологічний;
- конструктивний.

Значний вплив на циклічну міцність має технологія виплавлення сталі. Спокійні сталі мають більш високу межу витривалості ніж киплячі (розкислені Mn або Si). Високу втомну міцність мають сталі, отримані методом плазменого (рис. 4.10), променевого плавлення, електродугового та електроіонопроменевого плавлення [3].

Плавку тугоплавких металів проводять у вакуумі або в середовищі інертних газів, отримуючи розплавлені метали або сплави високої хімічної чистоти, так як при плавці у вакуумі забезпечується захист від забруднення, а також відбувається розчинення металу.

В результаті плавки в вакуумі підвищується пластичність і істотно покращуються інші фізико-механічні властивості металів. В даний час освоєні і освоюються на промисловому рівні вакуумна індукційна плавка, електродугова, електронно-променева, зонна та плазмова плавки.

За умови плавлення металів у вакуумі виділяється значна кількість газів, які повинні видалятися за допомогою вакуумних насосів. Нагрівання металу до 300-400° С супроводжується активною десорбцією газів, а також випаровуванням і розкладанням забруднених поверхонь металу. При подальшому нагріванні до 700-1000° С (для сталі) практично повністю виділяється водень і частково кисень. Процес плавлення складається з стадій нагрівання, розплавлення та розчинення, під час якого видаляються залишки газу.

Методом вакуумної плавки отримують заготовки з

залізних сплавів, нікелевих, молібденових сплавів; пластичні сорти заліза з малим вмістом вуглецю, спеціальні сталі та сплави з пониженим вмістом водню та азоту; платину; тугоплавкі рідкі метали.

Для реалізації даного методу використовують спеціальні плазмені пічки. Процес починається з того, що камера пічки наповнюється газом з плазматрону (використовується аргон, азот, водень). Як тільки у камері створюється потрібний тиск, починається процес плавлення. На першому етапі плазмена дуга робить проплав у шихті у формі вузького колодезя. Утворюється рідкий метал і починає стікати та накопичуватись у піддоні, після чого розплавлюється решта об'єму металу.

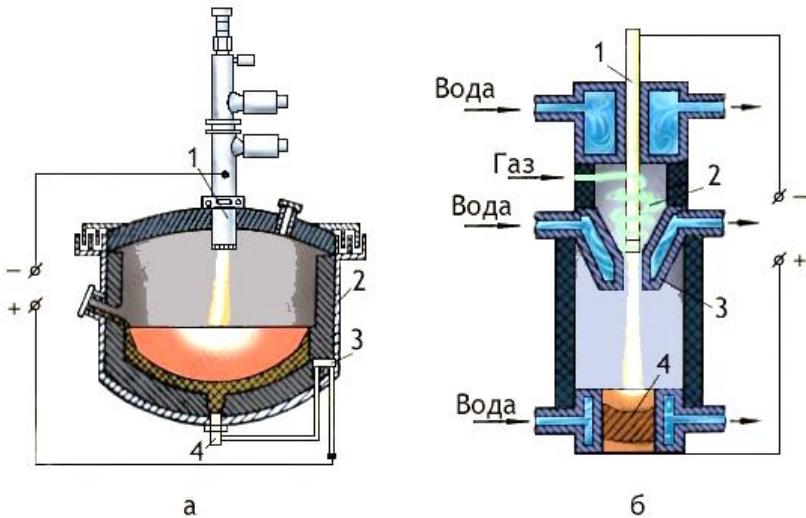


Рис. 4.9. Схема плазмено-дугових пічок: а – плавлення робочого металу: 1 – плазматрон, 2 – камера у пічці, 3 – соленоїд, 4 – електрод-анод; б – переплавлення металу: 1 – робочий електрод, 2 – жарова камера, 3 – сопло, 4 – кристалізатор

З метою підвищення втомної міцності використовують також *термообробку*. Так застосування способу – загартування з низьким відпуском дає можливість збільшити межу

витривалості у 2-2,5 рази [3].

Для *механічного зміцнення* використовують накатування, просте або ультразвукове вібронакатування, дробоструменеву або гідроструменеву обробку.

Накатування шийок і галтелей проводять роликми, які притискають до поверхні деталі. У поверхневих шарах металу створюються напруження стиску, які гальмують утворення та розвиток тріщин. Застосування даного методу (рис. 4.10) дозволяє підвищити втомну міцність у 1,5-3,0 рази.

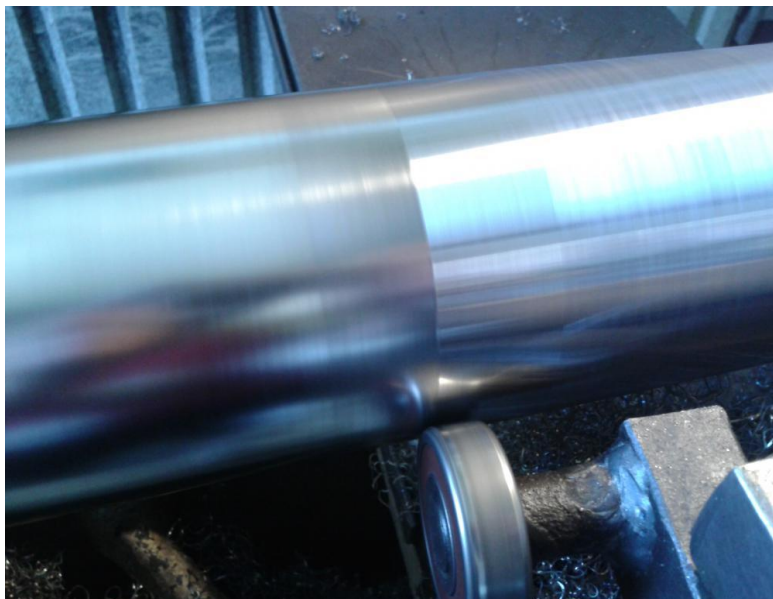


Рис. 4.10. Зміцнення поверхні роликом (накатування)

Дробоструменева обробка (рис. 4.11) – операція, при якій сталевий або чавунний дріб розміром 0,5-2,0 мм вилітає з дрібоструйного апарату з великою швидкістю (90-150 м/с), вдаряє по поверхні, яка підлягає зміцненню, відбувається її наклеп. Міцність, твердість і межа втоми при цьому зростають.

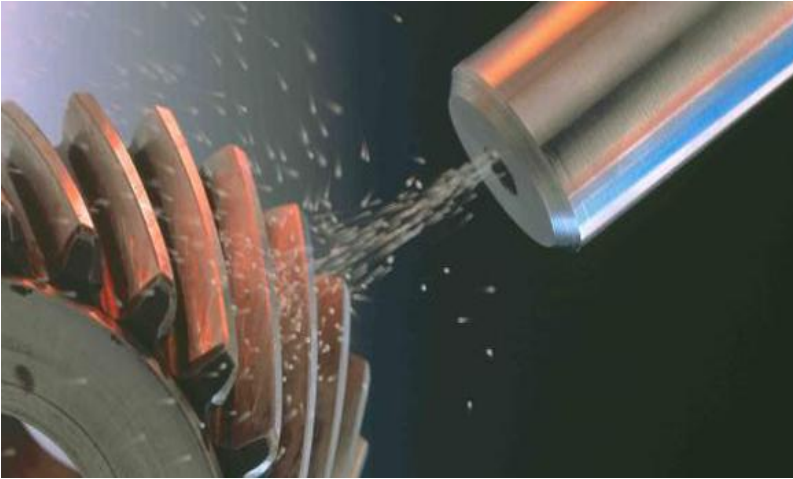


Рис. 4.11. Дробоструменева обробка

Даний вид обробки рекомендовано для проужин, ресор, зубчастих коліс, торсіоних валів, тощо.

Якщо традиційна дробоструменева обробка не задовольняє вимогам, доцільно звертатись до лазерної технології (рис. 4.12), яка базується на використанні високоенергетичного пульсуючого лазерного пучка для створення ударної комбінованої хвилі, що забезпечує пластичну деформацію металевої поверхні. При цьому виникає напруження, яке розповсюджується на глибину до 5 мм залежно від матеріалу та умов обробки. Як і механічна обробка, лазерне опромінення підвищує втомний ресурс і міцність деталей. Різниця в глибині проникнення. Лазер проникає на глибину, у 10 разів більшу. Тому він може застосовуватися в тих місцях деталі, де звичайна обробка дріббю не знімає в достатній ступені залишкові напруження. І оскільки лазерна обробка не залежить від балів, вона відрізняється більшою точністю і повторюваністю і може застосовуватися на особливих ділянках деталі.

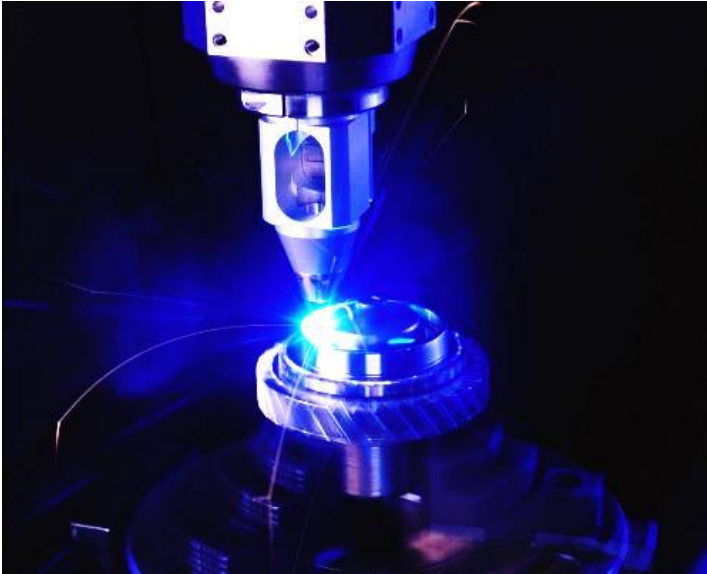


Рис. 4.12. Лазерне зміцнення деталі

До хіміко-термічних методів відносять [8; 9]:

- Дисоціацію - перехід елемента, яким насичують метал, з молекулярного в активний атомний стан;

- Адсорбцію – поглинання атомів елемента поверхнею сталеві деталі та утворення тонкого адсорбційного шару (кілька атомних шарів);

- Дифузцію – проникнення атомів елемента від поверхні у глибину металу з утворенням у дифузійному шарі твердих розчинів, хімічних сполук, інтерметалідів та інших фаз. В результаті хіміко-термічної обробки змінюються хімічні склади, структура та властивості поверхневих шарів деталей.

- Цементацию сталі – операція дифузійного насичення поверхневого шару низьковуглецевої (до 0,25% С) сталі вуглецем при нагріванні в відповідному середовищі. Метою цементації є отримання твердої зносостійкої поверхні, що досягається збагаченням поверхневого шару вуглецем до концентрації 0,8-1,2% і після неповного загартування з низьким відпуском, при цьому одночасно підвищується межа втомної

стійкості. Цементацію застосовують для виробів із легованих, якісних вуглецевих сталей (зубчасті колеса, поршневі кільця, валики, тощо).

- Азотування – дифузне насичення поверхневого шару азотом.

- Нітроцементацію – дифузне насичення поверхневого шару сталі вуглецем і азотом у газовому середовищі. Використовують для деталей складної форми, які схильні до короблення.

- Борування – насичення поверхневого шару сталі бором.

- Хромування – насичення поверхневого шару металу хромом.

Для поверхонь деталей, які працюють за умов циклічного навантаження, потрібно передбачати обробку з максимальною чистотою. Рекомендується вводити наступні операції: мікрошліфування (рис. 4.13), полірування, притирка, суперфініш. Дані операції сприяють підвищенню втомної міцності, особливо у деталей з міцних і твердих матеріалів.



Рис. 4.13. Мікрошліфування валу

4.7. Конструювання циклічно навантажених деталей

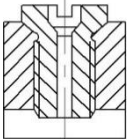
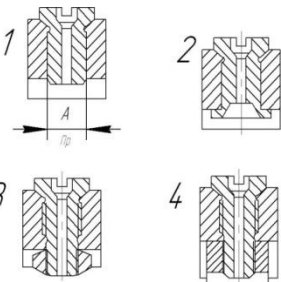
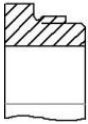

У ході конструювання циклічно навантажених деталей потрібно прагнути до зменшення концентрації напружень. Якщо усунути концентратори напружень абсолютно неможливо, то слід замінити сильні концентратори, що активно діють.

Наприклад, різбові отвори, що належать до найсильніших концентраторів, доцільно замінити гладкими отворами, негативний ефект яких менше і може бути ослаблений рядом мір. Концентратори слід видалити з найбільш напружених ділянок деталей і вузлів, якщо це допускає конструкція, в зони найменших напружень.

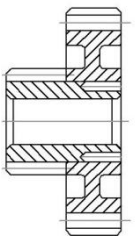
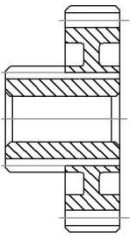
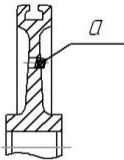
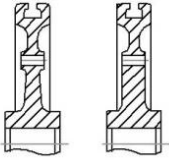
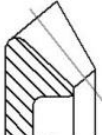
Приклади усунення та зниження концентрації напружень наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Приклади усунення та зниження концентрації напружень [3]

Вали		
<p>Кріплення пробки у валу</p>  <p>Різьба викликає концентрацію напружень</p>		<p>1. Різьбове з'єднання замінено запресуванням. 2. Пробка підсилена розвальцюванням. 3. Пробка підсилена гайкою. 4. Пробка вкручена в кільце, яке розташоване у валу.</p>
<p>Вал з різьбою</p> 		<p>Вал підсилений на ділянці різьби.</p>

<p>Торсіонний валок</p>  <p>Концентратор напружень біля основи шліців</p>		<p>Валик підсилений на ділянці розташування шліців</p>
<p>Шліцевий вал</p>  <p>Концентратор напружень біля основи шліців</p>		<p>Вал підсилений на послабленій ділянці</p>
<p>Підшипники</p>		
<p>Встановлення підшипників на валу</p>  <p>Вал послаблений канавками під стопорні кільця</p>		<p>Вал підсилений на послабленій ділянці</p>
<p>Кріплення підшипників на валу</p>  <p>Концентрація напружень на ділянці з різбою</p>		<p>Різьбовий пояс перенесено на ненавантажений кінець вала</p>

Колеса		
<p>З'єднання зубчастого колеса з валом</p>  <p>Концентрація напружень на ділянці встановлення гужонів</p>		<p>Діаметр встановлення і кількість гужонів збільшено Вал і маточина підсилені</p>
<p>Ротор турбіни</p>  <p>Ротор турбіни послаблений розвантажувальни ми отворами (а)</p>	 <p>1 2</p>	<p>1. Отвори підсилені бобишками 2. Отвори розміщені в кільцевому поясі</p>
<p>Конічне зубчасте колесо</p>  <p>Суміщення концентраторів напруження (а западни зубців і гострі торцеві кромки а і б)</p>		<p>Зубчастий вінець підсилений</p>

Конструктору слід враховувати також, що концентрація напружень падає зі зменшенням перепаду діаметрів і збільшенням відносного радіуса галтели $\rho = R/d$ (рис. 4.14).

Згідно [3] низькі значення ефективного коефіцієнту концентрації напружень (1,5) можна отримати за умови, що $\rho = 0,05 - 0,08$ для малих перепадів і $\rho = 0,1 - 0,15$ для великих (рис. 4.15).

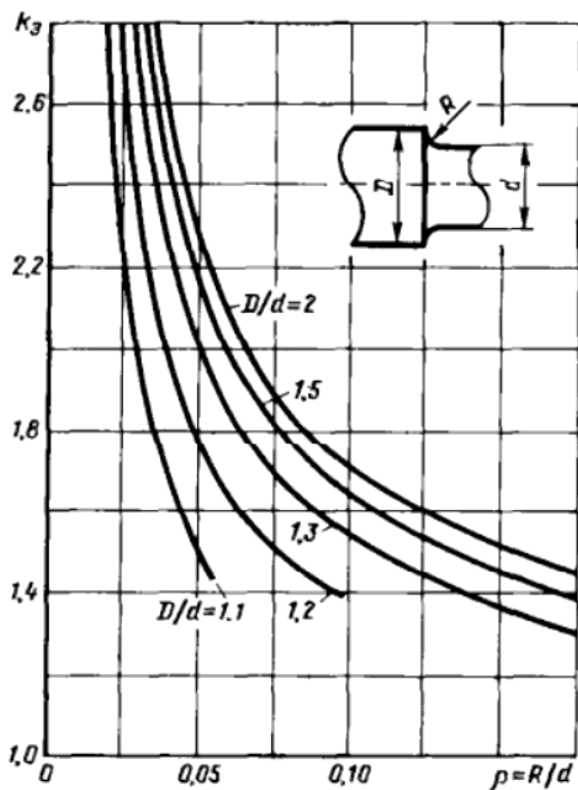


Рис. 4.14. Залежність коефіцієнту концентрації напружень від співвідношення $\rho = R/d$

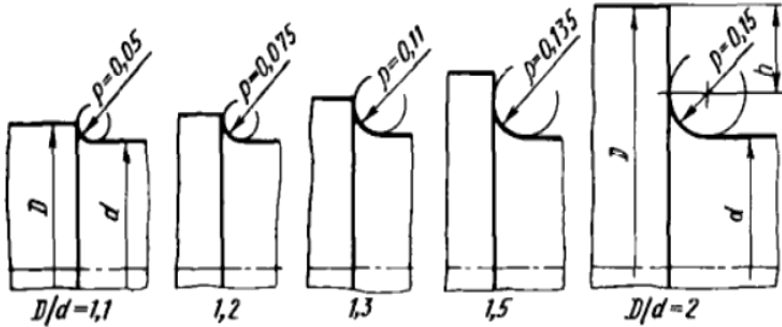


Рис. 4.15. Рівномічні галтелі для різних співвідношень D/d

За умови, що виступ використовується для упору насадної деталі та має плоску ділянку h , то максимальний радіус галтелі потрібно визначати наступним чином:

$$\rho_{max} = 0,5 \left(\frac{D}{d} - \frac{2h}{d} - 1 \right). \quad (4.6)$$

За умови, що співвідношення $\frac{D}{d} = 1,2 - 1,3$ та $\frac{h}{d} = 0,03$ радіус не повинен перевищувати 0,1.

Еліптичні галтелі (рис. 4.16, а) забезпечують за умови рівних перепадів діаметрів зростання міцності приблизно на 20% більше. Ефективність еліптичних галтелей залежить від співвідношення величини більшої піввісі b еліпсу до діаметру валу d валу. При $b = (0,4 - 0,45)d$ та $a/b = 0,4$ коефіцієнт концентрації напруження не перевищує 1,5.

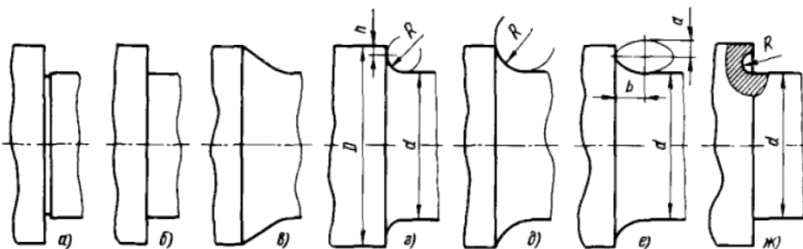


Рис. 4.16. Схеми перехідних ділянок валів

Недоліком такої форми галтелі є скорочення довжини циліндричної частини валу, що є небажаним для встановлення валу у підшипниках ковзання.

З метою усунення даного недоліку застосовують підвнутрішні галтелі (рис. 4.16, ж).

Якщо вузли машин містять шпонкові або шліцеві з'єднання, які працюють при значних циклічних навантаженнях, потрібно передбачати галтелі у всіх вхідних кутах (рис. 4.17).

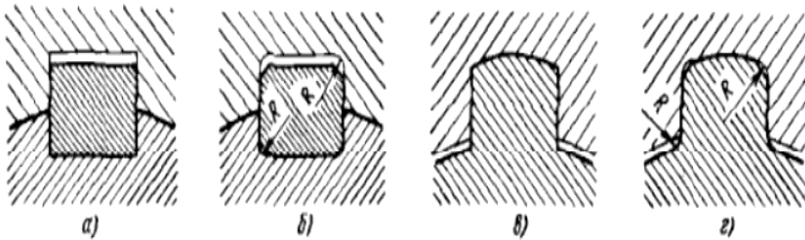


Рис. 4.17. Схеми введення галтелей у шпонкових і шліцевих з'єднаннях

У конструкціях, ділянки яких послаблено отворами, зміцнюють шляхом збільшення перерізів, у яких розташовані отвори, заокруглення кромки отворів.

Для внутрішніх порожнин валів, які використовують при значних циклічних навантаженнях, потрібно передбачати обробку з низькою шорсткістю. На внутрішніх поверхнях потрібно запобігати виточок, різі, інших концентраторів напружень. Для ступінчастих отворів потрібно передбачати виконання плавних переходів між ними (рис. 4.18, а) за рахунок введення галтелей або виконання сферичних перехідних ділянок (рис. 4.18, б).

Якщо деталі конструкції, що розробляється, передбачається експлуатувати при циклічних навантаженнях, конструктор повинен передбачати плавні форми даних деталей (рис. 4.19).

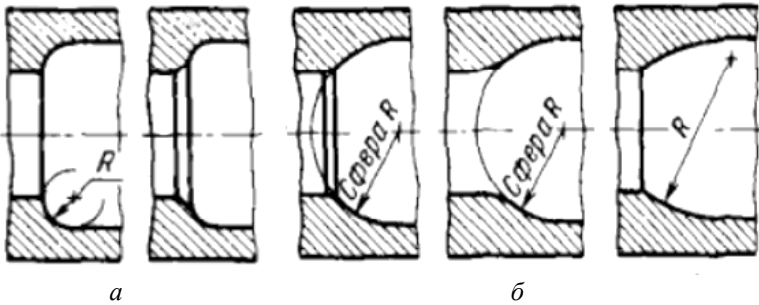


Рис. 4.18. Схеми внутрішніх отворів із ступінчастими переходами

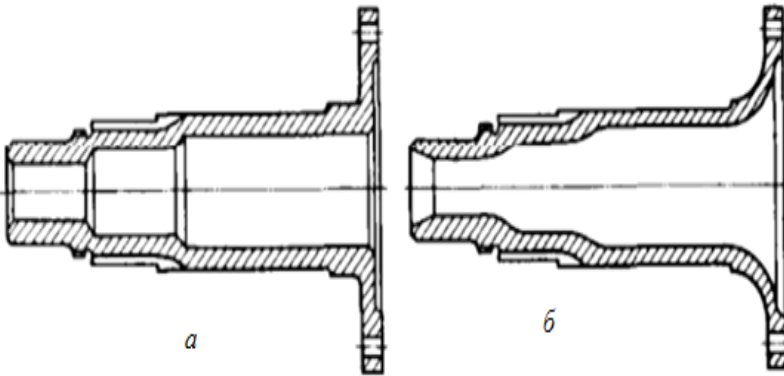


Рис. 4.19. Приклади виконання деталі:
а – нерациональне виконання; б – рациональне виконання (форма плавна, що забезпечує підвищену втомну міцність)

На рис. 4.20 наведено приклади конструювання колінчастих валів. Початкова конструкція 1 має незначну втомну міцність. У конструкції 2 міцність підвищена при збільшенні діаметра основних і шатунних шийок, а також перерізів щок. Збільшення діаметра шийок скорочує довжину найбільш небезпечних по міцності ділянок між шийками. Зміщення внутрішньої розточки шатунної шийки від геометричної осі шийки на величину k (конструкція 3) посилює зв'язок шатунних шийок з щоками і підвищує міцність шийки при згині. У конструкції 4 діаметр шийок збільшено до появи перекриття шатунних і корінних шийок, що забезпечує прямі

зв'язки шийок (ділянка п). Введення бочкоподібної стінки шатунної і корінної шийок знижує концентрацію напружень від отворів для підводу мастила в щоках колінчатого вала збільшує міцність з'єднання шийок із щоками. Сукупність всіх цих заходів значно збільшує міцність колінчатого вала в порівнянні з вихідною конструкцією. Форми з глибокими внутрішніми порожнинами і сильними щічками (5 і 6) можливі в конструкціях литих колінчатих валів.

Щоб уникнути збільшення осьових розмірів колінчатого вала і скорочення довжини основних і шатунних шийок, викликаних ущільненням щок, останні розвиваються в поперечному напрямку, замінюючи призматичні щоки 7 ромбоподібними 8, еліптичними 9 і круглими 10.

Важливе правило конструювання циклічно навантажених деталей – це усунення місцевих стрибків напружень, що виникають у місцях концентраторів навантажень.

У зубчастих колесах непрямолінійність зуба, похибки при нарізанні кута нахилу спіралевидних зубів, перекіс коліс можуть викликати концентрацію навантаження на кромках і, як наслідок, підвищення напружень згину. Тому потрібно передбачати зняття фаски або галтелей на кутах зубів (рис. 4.21, а). Піддатливість зубів можна збільшити шляхом зменшення жорсткості ободу в напрямку торців (рис. 4.21, б).

Ще одним способом запобігання підвищеним кромковим тискам є надання зубу бочкоподібної форми з одночасним заокругленням торцевих кромок (рис. 4.21, в).

Задача підвищення міцності пресових з'єднань полягає, перш за все, в зменшенні тиску на посадочних поверхнях і напружень в охоплюючій та охопленій деталях раціональним вибором параметрів з'єднання (діаметра і довжини посадочної поверхні, товщини стінки охоплюючої та охопленої деталей).

Потрібно виконувати правило:

Діаметр D посадочної поверхні має бути більше діаметра D_0 вала принаймні на 5-10% (рис. 4.22, а) і пов'язана з ним плавними галтелями $R = (0,2-0,25) D$. Стрибки напружень на кромках з'єднання зменшують введенням на краях маточини розвантажувальних фасок t (рис. 4.22, б), за рахунок

потоншення маточини в напрямку торців (рис 4.22, в), бомбінуванням [10] (приданням бочкоподібної форми) вала (рис. 4.22, з).

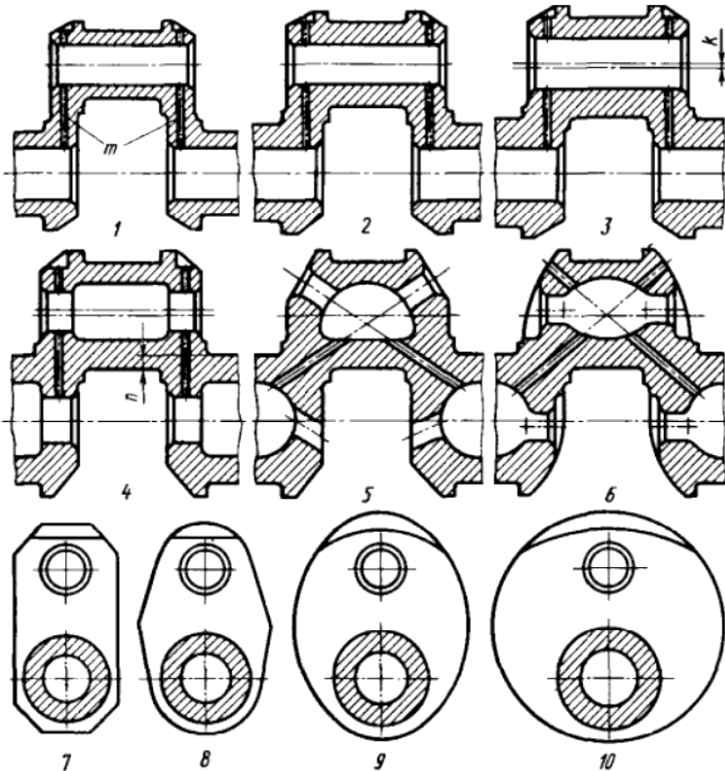


Рис. 4.20. Приклади виконання колінчатих валів, які працюють при високих циклічних навантаженнях

Значне підвищення міцності можна отримати за рахунок кругової накатки посадочної поверхні вала. Не рекомендується застосовувати накатування обмежених кільцевих ділянок біля торців з'єднання (рис. 4.22, д), де виникають стрибки напружень.

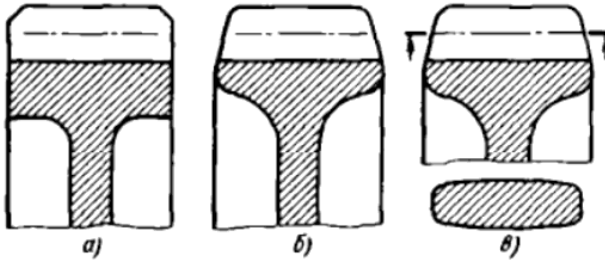


Рис. 4.21. Схеми варіантів усунення концентрації напружень на кромках зубців

Ефективний спосіб підвищення опору втоми пресових з'єднань – це посилення контактних поверхонь хіміко-термічною обробкою.

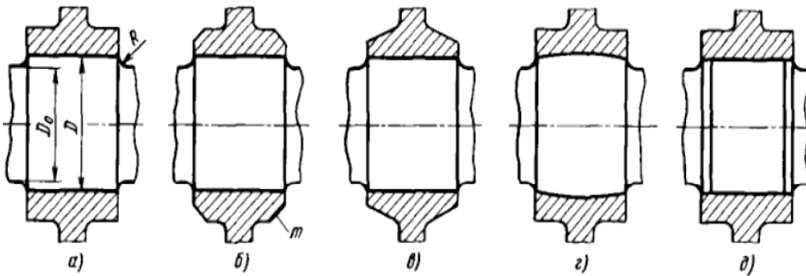


Рис. 4.22. Схеми збільшення втомної міцності з'єднань із натягом

Циклічно навантажені з'єднання, які передають змінний момент або підлягають знакозмінним радіальним навантаженням, піддаються сильним особливим пошкодженням: фрикційна корозія (фретинг-корозія), наклеп та зварювання.

Основною причиною цих дефектів є багаторазові повторні деформації та мікроссуви спряжених поверхонь, які приводять до нагрівання металу.

Фрикційна корозія (фретинг-корозія) полягає в окисленні поверхні металу. На сталевих та чавунних поверхнях утворюються окисли заліза (переважно Fe_2O_3) у вигляді іржавих плям. На бронзових поверхнях з'являються зелені плівки окислів

міді, а на алюмінієвих – білі плівки Al_2O_3 . Фрикційна корозія різко знижує циклічну міцність [10; 11].

З'єднання, які працюють у важких умовах, нагріваються внаслідок періодичних деформацій до $400-500^\circ C$. Короткочасні піки температур на ділянках дотику мікронерівностей досягають $800-1000^\circ C$. При цьому відбувається локальний відпуск, розм'якшення та зниження міцності сталі. У цих умовах виникає фрикційний наклеп, що проявляється в змінанні поверхонь, появі нерівностей і частковому зчепленні металу спряжених поверхонь. На наступній стадії з'єднання зварюється.

До зварювання схильні однакові метали та метали з подібною атомно-кристалічною будовою. Стійкими до зварювання є загартовані сталі [13; 14].

Засоби запобігання таким явищам наступні:

- зменшення деформацій і мікрозсувів спряжених поверхонь (збільшення жорсткості конструкції, силова затяжка з'єднань, безазорна передача крутного моменту);

- відведення теплоти, яка виділяється під час мікрозміщень (застосування прокладки з теплопровідних матеріалів, в з'єднаннях, що працюють з зазорами, – введення охолоджувача мастила);

- встановлення між контактними поверхнями проміжних бронзових або латунних втулок;

- застосування розділяючих покриттів (фосфатування, покриття міддю);

- введення твердого мащення на основі дисульфїду молібдену, колоїдального графіту та ін.;

- створення в поверхневих шарах структур, стійких проти корозії та зварювання.

Головний конструктивний прийом для запобігання наклепу і зварюванню – створення на спряжених поверхнях натягу – радіального (по циліндричним поверхням) або осьового (по торцевих поверхнях), що різко підвищує жорсткість вузла вцілому, зменшує еластичні деформації системи і ефективно гальмує взаємні зсуви суміжних поверхонь (вузла, системи).

Питання для самоперевірки та повторення

1. Суть та причини проявів втомного руйнування.
2. Якими параметрами характеризують цикл змінних напружень.
3. Які основні закони змінних напружень Ви знаєте?
4. Яким чином характер навантажень впливає на межу витривалості?
5. Що таке концентрація напружень. Наведіть приклади концентраторів напружень
6. Як оцінюють вплив концентраторів напружень на межу витривалості?
7. Як оцінюють реальний вплив концентрації напружень на міцність матеріалу?
8. Які засоби зменшення концентрації напружень Ви знаєте?
9. Як характеризується вплив розмірів на межу витривалості?
10. Назвіть причини прояву масштабного фактора?
11. Основні способи підвищення циклічної міцності деталей.
12. Які технологічні способи підвищення циклічної міцності деталей Ви знаєте?
13. Які конструктивні способи підвищення циклічної міцності деталей Ви знаєте?
14. Основні хіміко-термічні методи підвищення циклічної міцності деталей.
15. Способи зменшення концентрації напружень на перехідних ділянках валів. Навести приклад.
16. Спосіб зменшення втомних напружень для внутрішніх порожнин валів?
17. Важливе правило конструювання циклічно навантажених деталей.
18. У чому полягає задача підвищення міцності пресових з'єднань?
19. Ефективний спосіб підвищення опору втомних пресових з'єднань.
20. Засоби запобігання явища зварювання поверхонь спряжених деталей.

Тестові питання

1. Якими параметрами характеризують цикли змінних напружень?

- амплітуда напружень, середнє напруження, коефіцієнт симетрії циклу

- амплітуда напружень циклу, мінімальне напруження, максимальне напруження, середнє напруження, коефіцієнт асиметрії циклу

- амплітуда напружень циклу, мінімальне напруження, максимальне напруження, середнє напруження, коефіцієнт симетрії циклу

- мінімальне напруження, максимальне напруження, середнє напруження, коефіцієнт асиметрії циклу, коефіцієнт симетрії циклу

- пікове напруження циклу, мінімальне напруження, максимальне напруження, середнє напруження, коефіцієнт асиметрії циклу

2. Оберіть вираз для визначення теоретичного коефіцієнту концентрації напружень

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_H}$$

- $\alpha_0 = \frac{\tau_{max}}{\tau_H}$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_H}{\sigma_{max}}$$

- $\alpha_0 = \frac{\tau_H}{\tau_{max}}$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_T}$$

- $\alpha_0 = \frac{\tau_{max}}{\tau_T}$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_H}$$

- $\alpha_0 = \frac{\tau_{-1}}{\tau_H}$

$$\alpha_0 = \sigma_{max} \sigma_H$$

- $\alpha_0 = \tau_{max} \tau_H$

3. Оберіть вірне закінчення виразу: «Теоретичний коефіцієнт концентрації залежить від...»

- геометрії концентратора і не відображає властивостей матеріалів

- геометрії концентратора і відображає властивості матеріалів

- розташування концентратора і відображає властивості матеріалів

- розташування концентратора і не відображає властивостей матеріалів

- відстані від концентратора до нейтральної осі перерізу

4. Який параметр необхідно враховувати для оцінки перерізу деталі, який містить декілька концентраторів напружень?

- більший ефективний коефіцієнт концентрації напружень

- більший теоретичний коефіцієнт концентрації напружень

- середній ефективний коефіцієнт концентрації напружень

- середній теоретичний коефіцієнт концентрації напружень

- більший ефективний коефіцієнт згладжування напружень

5. За яким виразом визначають коефіцієнт масштабного фактора?

$$- \varepsilon_k = \frac{\sigma}{\sigma_0}$$

$$- \varepsilon_k = \frac{\sigma_0}{\sigma}$$

$$- \alpha_0 = \frac{F}{S}$$

$$- \varepsilon_k = \frac{F}{S}$$

$$- \varepsilon_k = F\sigma$$

6. Які способи підвищення втомної міцності застосовують під час конструювання?

- конструктивний, технологічний

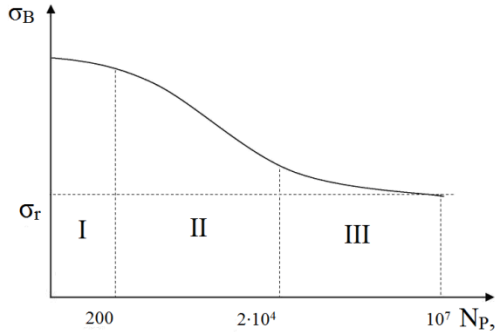
- параметричний, технологічний

- технічно-технологічний, конструктивний

- конструктивний, експлуатаційний

- моделювання, термічна обробка

7. Як називається зона II на кривій Велера?



- малоциклової втоми
- багатоциклової втоми
- пластичного деформування
- крихкого руйнування
- втомного зміцнення

8. Оберіть вірний недолік еліптичної галтелі

- скорочення довжини циліндричної частини валу
- послаблення найменшого перерізу валу
- підвищення циклічних навантажень
- зменшення контактних напружень
- зменшення радіальних навантажень

9. Які пошкодження проявляються у циклічно навантажених з'єднаннях, які передають змінний момент або підлягають знакозмінним радіальним навантаженням?

- фрикційна корозія, наклеп та зварювання
- фретинг-корозія, короблення
- короблення, наплавлення, згин
- наклеп, згин, зсув
- корозія, хімічний окис, наклеп

10. Який головний конструктивний прийом для запобігання наклепу і зварюванню циклічно навантажених деталей?

- створення на спряжених поверхнях натягу – радіального (по циліндричним поверхням) або осьового (по торцевих поверхнях)

- створення на спряжених поверхнях натягу – осьового (по циліндричним поверхням) або осьового (по торцевих поверхнях) або радіального (по торцевих поверхнях)
- наклеп деталей з'єднання
- термічна обробка внутрішньої поверхні охоплюючої деталі з'єднання
- хіміко-термічна обробка внутрішньої поверхні охоплюючої деталі з'єднання

ТЕМА 5. КОНТАКТНА МІЦНІСТЬ

План викладу матеріалу

5.1. Основні поняття

5.2. Сферичні з'єднання.

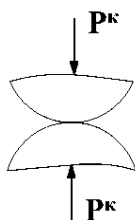
5.3. Циліндричні з'єднання

5.4. Правила конструювання

5.5. З'єднання, що працюють під ударними навантаженнями

5.1. Основні поняття

Деформації і напруження, що виникають в зоні контакту двох тіл, обмежених криволінійними поверхнями, називаються контактними.



Для такої контактної взаємодії характерно, що передача тиску відбувається через дуже малі площадки, в результаті $\sigma_{\text{конт}}$ досягає великих значень.

Контактні напруження мають місцевий характер, вони дуже швидко зменшуються в міру віддалення від місця контакту.

Вивчення контактних напружень важливе для розрахунку підшипників, зубчастих коліс, кулачкових механізмів, коліс вагонів, рейок і т.п.

Вперше розв'язок контактної задачі методом теорії пружності дав німецький фізик Герц (1881-1882 рр.) [15; 16].

Розв'язання побудовано на таких припущеннях:

1. В зоні контакту виникають тільки пружні деформації, що відповідають закону Гука [16; 17].
2. Площинки контакту малі порівняно з розмірами тіл.
3. Сили тиску, нормальні до поверхні контакту.

У зоні контакту утворюється площадка, розміри якої залежать від пружності матеріалу, форми тіл.

За умови стискання сфер (рис. 5.1, а) площадка контакту має вигляд кола. Радіус такого кола визначається:

$$r = 1,4 \sqrt[3]{\frac{FV}{E}}, \quad (5.1)$$

де F – навантаження, Н;

$E = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$ – приведений модуль пружності, тут E_1, E_2 – модулі пружності сфери 1 та 2 відповідно;

$V = \frac{dD}{D \pm d}$ – приведений діаметр сфер, мм (знак мінус відносять до випадку дотику опуклої поверхні з вгнутою поверхнею діаметром D).

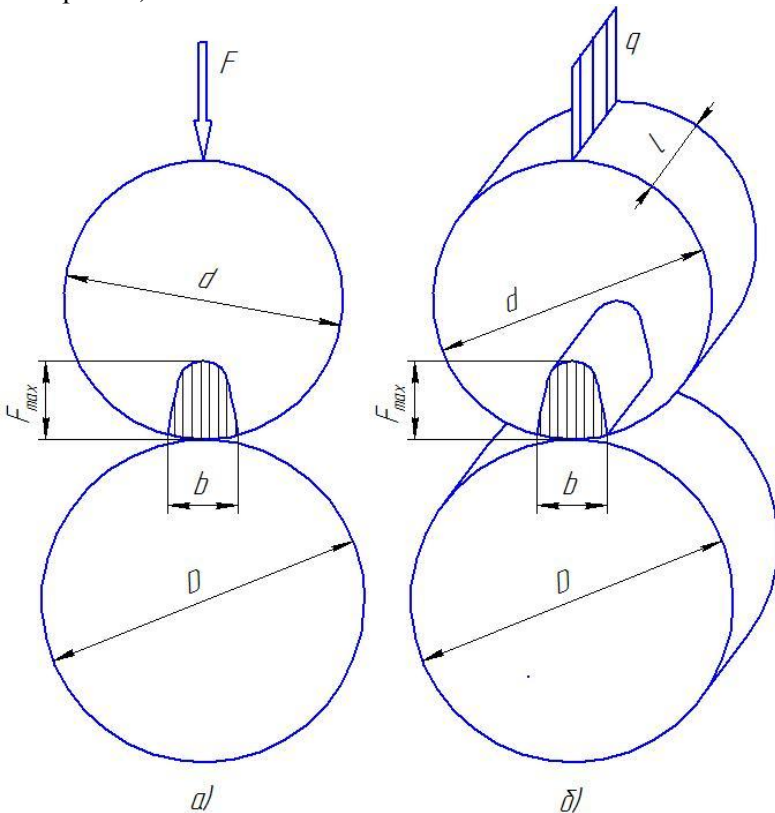


Рис. 5.1. Схеми контактних з'єднань: a – сферичних, b – циліндричних

У середині площадки контакту виникає максимальний тиск, який у 1,5 рази перевищує середнє значення:

$$p_{max} = 1,5 \frac{F}{0,785\delta^2}. \quad (5.2)$$

За умови стискання циліндрів (рис. 5.1, б) площадка має вигляд прямокутника шириною:

$$b = 1,5 \sqrt{q \frac{V}{E}}, \quad (5.3)$$

де q – навантаження на одиницю довжини циліндрів, Н/мм.

Максимальний тиск виникає на середній лінії площадки контакту. Даний тиск у 1,27 рази вище ніж середнє значення:

$$p_{max} = 1,27 \frac{q}{b}. \quad (5.4)$$

Волокна матеріалу у зоні дії максимального тиску знаходяться у стані всебічного стиску, а межа текучості, наприклад загартованих сталей, досягає 300-500 мПа [3], що в 4-5 разів більше межі текучості, яка характерна для одновісного стискання.

У машинобудівних конструкціях діють циклічні навантаження внаслідок періодичної зміни величини зовнішніх навантажень, а також внаслідок відносного руху тіл дотику. Відносний рух контактуючих тіл порушує Герцовий розподіл напружень у зоні контакту. Поверхневий шар у зоні контакту розтягується та стискається у тангенційному напрямку. Розташування зон стискання та розтягу залежить від кінематики руху.

За умови чистого кочення зони стиску на обох спряжених поверхнях розташовані з одного боку від центру контакту, з іншого боку матеріал розтягується.

За умови ковзання і кочення з ковзанням ділянка стиску на поверхні, яка є випереджаючою (рис. 5.2, а), розташована

перед центром контакту (на зустріч руху), а на поверхні, що відстає, за ним; на протилежних ділянках матеріал розтягується (рис. 5.2, б).

У зоні стискання випереджаючої поверхні (рис. 5.2, в) відбувається зближення та зсув волокон матеріалу в напрямку стрілок на рис. 5.2, в. У зоні розтягу волокна пружно розпрямляються та переміщуються в тому ж напрямку. На відстаючій поверхні волокна переміщуються в зворотному напрямку. На поверхні контакту виникають сили тертя, які сприяють відхиленню діючих сил від нормалі до площадки контакту.

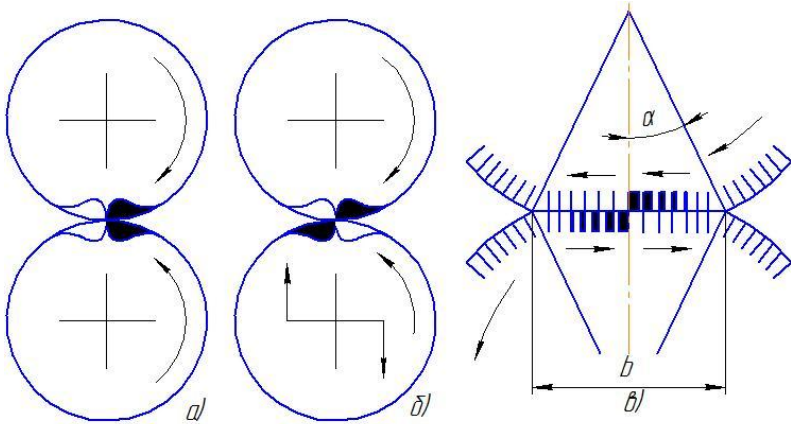


Рис. 5.2. Розтяг і стиск у зоні контакту

Періодичний стиск і розтяг волокон призводить до відставання веденого тіла. За умови наявності мастила та незначному тиску в зоні контакту утворюється масляна плівка, яка сприяє рівномірному розподілу тиску та збільшенню фактичної площі контакту. Відносний рух поверхонь контакту призводить до виникнення гідродинамічного ефекту: в плівці, яка видавлюється з зазору, виникають підвищені тиски, які сприяють розділенню металевих поверхонь. Це призводить до того, що навантаження сприймає частково деформація

виступаючих поверхонь металевих нерівностей, частково тиск у масляній плівці.

За умови ковзання мастило зтягується рухомою поверхнею у зазор між поверхнями й розділяє їх. Створюється ефект рідинного тертя.

Якщо в зоні контакту виникає значний тиск, мастило потрапляє в мікротріщини на поверхнях деталей, розширює їх, що призводить до викришування металу. Дане явище найбільшим чином проявляється в тому випадку, коли на одну з поверхонь діють напруження розтягу (рис. 5.2, в).

Підвищення міцності тіл контакту полягає в зменшенні тиску в зоні контакту шляхом надання раціональної форми поверхонь спряження.

5.2. Сферичні з'єднання

Згідно теорії Герца [17] максимальне напруження σ_{max} , яке виникає у поверхневому шарі двох сфер, виконаних із однакового матеріалу, за умови їхнього стискання визначається:

$$\sigma_{max} = 0,6\sigma_0\sqrt{\frac{FE^2}{d^2}}, \quad (5.5)$$

де F – зовнішнє навантаження, Н;

E – модуль нормальної пружності матеріалу сфер, мПа;

d – діаметр меншої сфери, мм;

σ_0 – безрозмірна величина, яка визначається:

$\sigma_0 = \left(1 \pm \frac{1}{a}\right)^{2/3}$, де $a = D/d$ – відношення діаметрів більшої та меншої сфер (знак мінус відносять до випадку роботи сфери по вгнутій сферичній поверхні).

На рис. 5.3 наведені значення σ_0 для трьох випадків навантаження:

- 1) сфера по сфері;
- 2) сфера по сферичній вгнутій поверхні;
- 3) сфера по площині ($a = \infty$).

З наведених на рис. 5.3 графіків функції $\sigma_0 = f(a)$ випливає, що максимальні напруження виникають за умови стискання двох сфер однакового діаметру ($a=1$). Зі збільшенням діаметру однієї з сфер σ_0 зменшується та при $a = \infty$ маємо $\sigma_0 = 1$.

За умови опори на вгнуту сферичну поверхню напруження значно менші та різко падають зі зменшенням a .

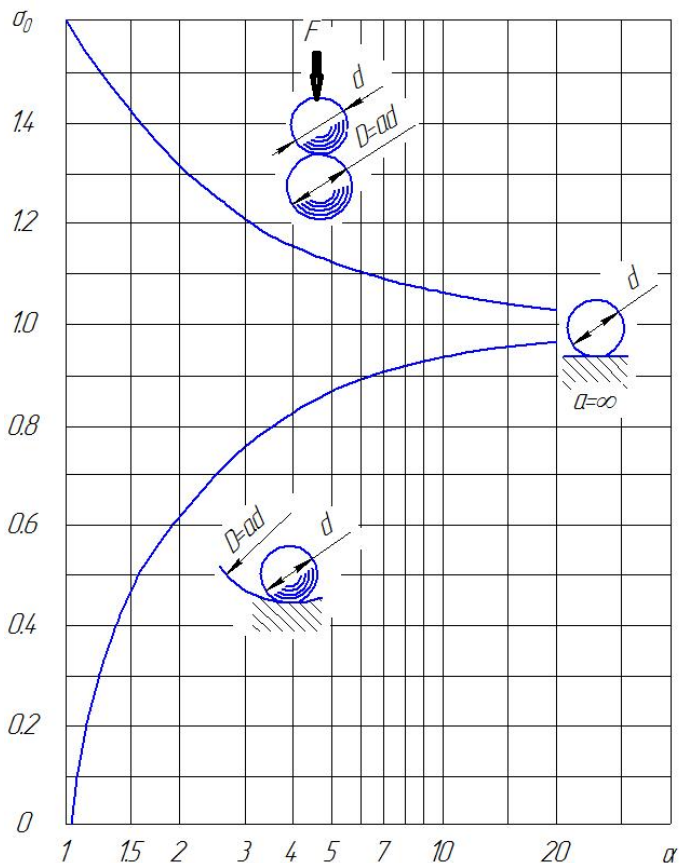


Рис. 5.3. Графік функції $\sigma_0 = f(a)$

5.3. Циліндричні з'єднання

Максимальне напруження за умови стискання двох циліндрів, які виготовлено з однакового матеріалу, згідно теорії Герца:

$$\sigma_{max} = 0,6\sigma_0\sqrt{\frac{FE}{ld}}, \quad (5.6)$$

де d – діаметр меншого циліндра, мм;
 l – довжина циліндрів, мм;
 σ_0 – безрозмірна величина (див. п. 5.2).

Значення σ_0 наведені на рис. 5.4 для різних випадків навантаження:

- 1) циліндр по циліндру;
- 2) циліндр по вгнутій поверхні;
- 3) циліндр по площині ($a = \infty$).

Величина σ_0 набуває максимального значення ($\sigma_0 = 1,41$) за умови стискання циліндрів однакового діаметру ($a=1$) та зменшуються за умови контакту циліндру з площиною ($a = \infty$). При цьому ($\sigma_0 = 1,0$). Контакт циліндру з вгнутою поверхнею характеризується різким падінням величини σ_0 , яка у даному випадку наближається до нуля.

Дослідження навантажень циліндричних і сферичних з'єднань [3; 5] виявили, що навантаження у контактних циліндричних з'єднаннях вище ніж у сферичних при низьких значеннях σ_{max} (5 ÷ 20 МПа). При характерних для машинобудування значеннях $\sigma_{max} = 100 \div 200$ МПа відношення $F_{цил}/F_{сфер}$ зменшується до 20-100 при $a=1,1$ та до 2-

10 при $a<1,1$. За умови подальшого зростання σ_{max} різниця у несучій здатності циліндрів і сфер стирається. При $a=1,02$ і $\sigma_{max} = 250$ МПа несуча здатність циліндрів і сфер однакова, а

при більш високих значеннях σ_{max} сфери перевищують циліндри за навантажувальною здатністю $F_{цил}/F_{сфер} < 1,0$.

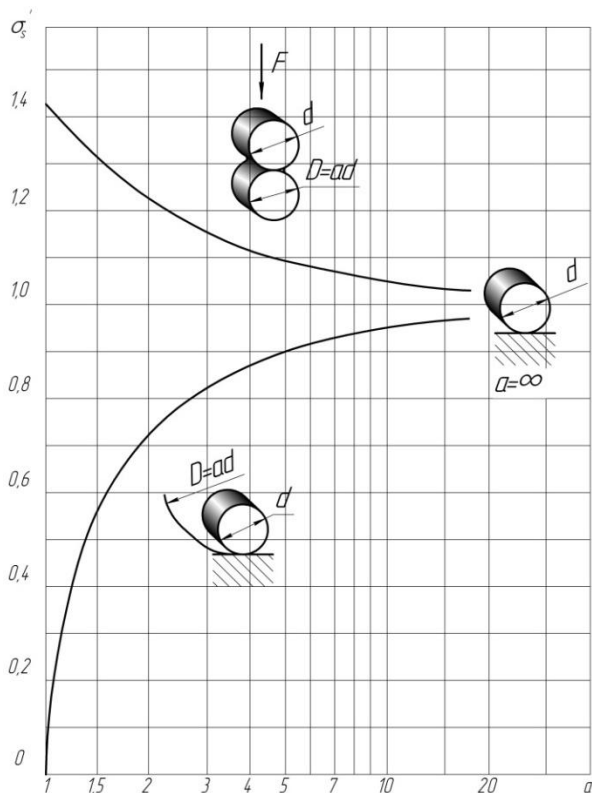


Рис. 5.4. Графік функції $\sigma_0 = f(a)$

Навантажувальну здатність циліндричних з'єднань можна збільшити за рахунок збільшення довжини циліндрів. Такої можливості немає в сферичних з'єднаннях. Збільшення довжини циліндрів потрібно контролювати, щоб не допустити різких збільшень навантажень на кромках. Дане явище характерне за умови, що довжина циліндра перевищує його діаметр у 1,5 і більше раз.

5.4. Правила конструювання

Розглянемо основні правила конструювання контактних навантажених з'єднань [17-21].

У ході конструювання контактних навантажених з'єднань увага повинна приділятися зменшенню напружень шляхом надання з'єднанням раціональної форми. У випадках, коли це допускають умови роботи з'єднання, деталі, які сприймають навантаження, потрібно розташовувати в гнізді, що має діаметр, максимально наближений до діаметру деталі ($a=1,02 - 1,03$).

На рис. 5.5 наведено приклад послідовного зміцнення сферичного з'єднання (вузол кулькового підп'ятника). Найбільш раціональною є конструкція, подана на рис. 5.5, *e*, яка містить сферичну поверхню великого діаметру, яка розташована у гнізді сферичної форми.

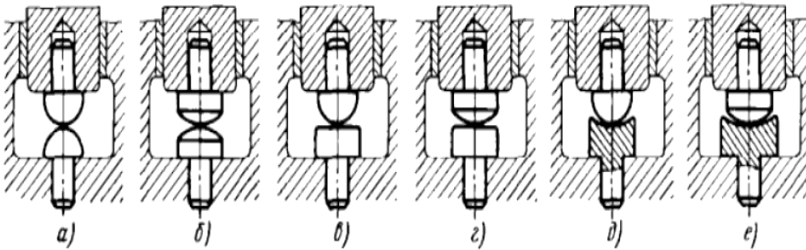


Рис. 5.5. Схеми послідовного зміцнення вузла кулькового підп'ятника

Навіть за умови використання сфер або циліндрів значних діаметрів поверхня контакту має незначні розміри. Контакт можна наближено рахувати точковим. З урахуванням цього не доцільно збільшувати розміри поверхонь контакту, що веде до додаткових витрат на точну механічну обробку цих поверхонь. У ході конструювання з'єднань із сферичними поверхнями їм необхідно надавати найменш прийнятні за технологією виготовлення розміри (рис. 5.6).

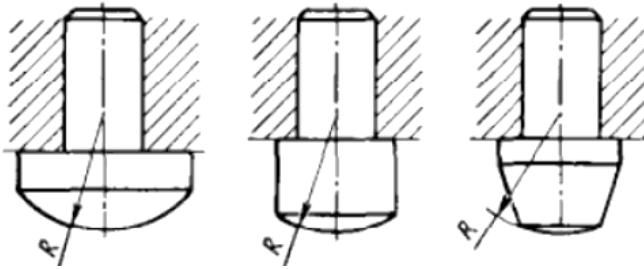


Рис. 5.6. Схеми конструктивного рішення сферичних контактних поверхонь

З метою збільшення навантажувальної здатності контактної навантаженої з'єднань рекомендовано замінювати точковий контакт лінійним, а лінійний- поверхневим виходячи з конструктивних і функціональних можливостей з'єднання (рис. 5.7).

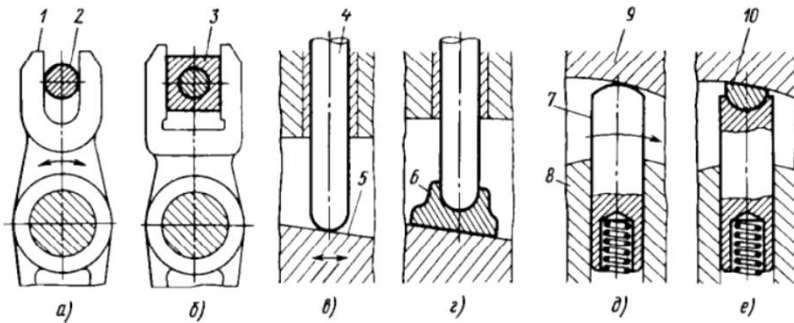


Рис. 5.7. Приклади заміни лінійного контакту поверхневим

На рис. 5.7, *а* наведено схему важільного механізму, який містить важіль 1 і палець 2, який ковзає в пазу важеля. На поверхні контакту діють сили тертя, які призводять до швидкого зносу граней пазу. Згідно рекомендацій, наданих вище, виконано заміну лінійного контакту поверхонь тертя на поверхневий. З цією метою на палець надіто сухар (рис. 5.7, *б*).

На рис. 5.7, наведено схему вузла приводу штовхача 4 за допомогою похилої шайби 5. Між сферичним кінцем штовхача

4 та шайбою 5 виникає точковий контакт (конструкція не раціональна). З метою підвищення стійкості проти спрацювання замінимо точковий контакт на поверхневий шляхом введення у конструкцію самовстановлювальної п'яти 6 (рис. 5.7, з).

На рис. 5.7, д подано схему контактного з'єднання лопатевого насосу. Лінійний контакт лопаті 7 та корпусу 9 замінено на поверхневий (рис. 5.7, е) шляхом встановлення шарнірного вкладиша 10.

5.5. З'єднання, що працюють під ударними навантаженнями

За умови наявності зазору в циклічно навантажених з'єднаннях різко погіршуються умови їхньої роботи. Це пояснюється тим, що спряжені поверхні періодично розсуваються та змикаються, що спричиняє виникнення ударного навантаження. Наслідком періодичних ударних впливів є нагрівання поверхонь контакту та їхнє розбивання. Для запобігання прояву таких явищ у ході конструювання потрібно:

- передбачати підведення в з'єднання рясного мащення з метою створення амортизуючої масляної плівки та відводу тепла;
- вводити до складу з'єднання пружні амортизатори з метою пом'якшення удару;
- зменшувати масу ланок механізму з метою зменшення інерційних навантажень;
- у ході розробки конструктивного рішення з'єднання прагнути до зменшення або повного усунення зазорів;
- запроваджувати конструктивні рішення, які забезпечують зменшення ударного навантаження, наприклад за рахунок зменшення прискорень, які виникають у системі.

На рис. 5.8 наведено приклади конструктивного вирішення проблеми негативного впливу циклічних ударних навантажень на конструктивні елементи вузла штоку.

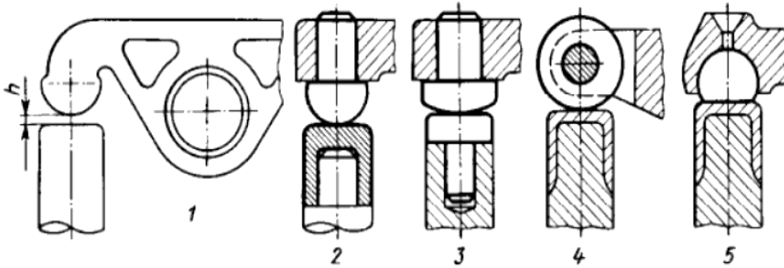


Рис. 5.8. Схеми послідовного зміцнення вузла приводу штока

Конструкція вузла приводу штока передбачає зазор h між поверхнями контакту (рис. 5.8, а), наявність якого спричиняє ударні навантаження. Рух коромисла 1 супроводжується зміщенням бойка по торцю штоку, ускладнюючи умови роботи з'єднання.

Скориставшись рекомендаціями, наведеними в п.п. 4.6 і 5.5 для підвищення роботоздатності з'єднання запровадимо наступне:

- варіант 1: загартування бойка і наконечника штоку (рис. 5.8, конструкція 2);
- варіант 2: виготовлення бойка з циліндричною поверхнею великого радіусу з метою забезпечення лінійного контакту на відміну від точкового (схема 1);
- варіант 3: заміна тертя кочення на тертя ковзання (схема 4);
- варіант 4: заміна лінійного контакту на поверхневий шляхом введення у конструкцію сферичного вкладиша з плоскою робочою поверхнею (схема 5).

Питання для самоперевірки та повторення

1. Які напруження називають контактними?
2. Яким чином кінематика руху впливає на розташування зон стискання та розтягу контактуючих круглих тіл?
3. За якою залежністю згідно теорії Герца визначається максимальне напруження σ_{max} , яке виникає у поверхневому шарі двох сфер, виконаних із однакового матеріалу?
4. За якою залежністю згідно теорії Герца визначається максимальне напруження σ_{max} , яке виникає у поверхневому шарі двох циліндрів, виконаних із однакового матеріалу?
5. Яким чином впливає на навантажувальну здатність форма циліндричних поверхонь контакту?
6. Яким чином можна збільшити навантажувальну здатність циліндричних з'єднань?
7. Які конструктивні рішення сприяють збільшенню навантажувальної здатності контактних навантажених з'єднань?
8. Назвіть шляхи зменшення негативного впливу ударних навантажень на робото- здатність контактних навантажених з'єднань.
9. Які припущення вводяться для розв'язку контактної задачі методом теорії пружності?
10. Яким чином визначається приведений модуль пружності?

Тестові питання

1. Оберіть вірну залежність для визначення радіуса площадки контакту двох сфер

$$- r = 1,4 \sqrt[3]{\frac{FV}{E}}$$

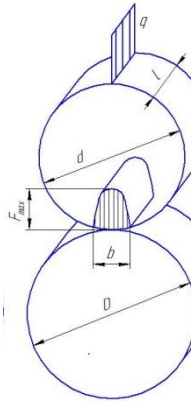
$$- r = 1,8 \sqrt[3]{\frac{FV}{E}}$$

$$- r = 12,0 \sqrt[3]{\frac{FV}{E}}$$

$$- r = 1,4 \sqrt[2]{\frac{FV}{E}}$$

$$- r = \sqrt[3]{\frac{FV}{E}}$$

2. За якою залежністю визначається ширина площадки контакту?



$$- b = 1,5 \sqrt{q \frac{V}{E}}$$

$$- b = 2 \sqrt{q \frac{V}{E}}$$

$$- b = \sqrt{q \frac{V}{E}}$$

$$- b = 1,5 \sqrt{q \frac{E}{V}}$$

$$- b = 1,5 \sqrt{q/d}$$

3. У чому полягає підвищення міцності тіл контакту?

- в зменшенні тиску в зоні контакту шляхом надання раціональної форми поверхонь спряження;
- у зменшенні сил тертя в зоні контакту шляхом надання раціональної форми поверхонь спряження;
- у збільшенні діаметру однієї з поверхонь;
- у застосуванні твердого мастила;
- у зменшенні ударних навантажень шляхом введення амортизуючого кільця.

4. Оберіть вірний вираз для визначення максимального напруження за умови стискання двох циліндрів, які виготовлено з однакового матеріалу

$$- \sigma_{max} = 0,6 \sigma_0 \sqrt{\frac{FE}{ld}}$$

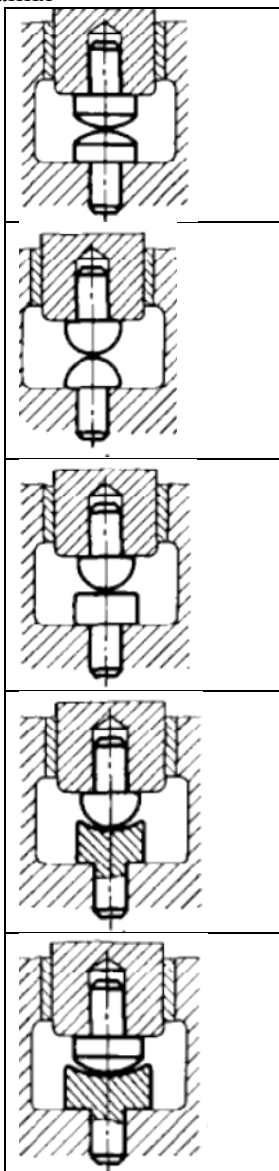
$$- \sigma_{max} = 0,5 \sigma_0 \sqrt{\frac{FE}{ld}}$$

$$- \sigma_{max} = 0,6 \sqrt{\frac{FE}{ld}}$$

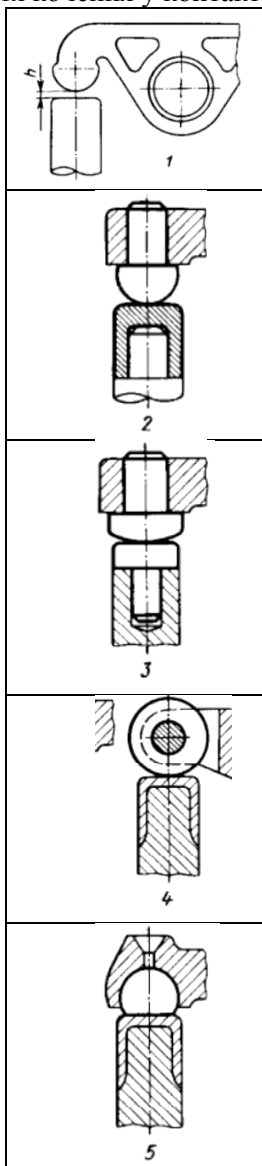
$$- \sigma_{max} = 0,5 \sigma_0 \sqrt{\frac{ld}{FE}}$$

$$- \sigma_{max} = a \sqrt{\frac{FE}{ld}}$$

5. Оберіть найбільш раціональне виконання контактної навантаженого з'єднання



6. Оберіть конструктивне рішення, яке забезпечує заміну тертя ковзання на тертя кочення у контактному з'єднанні



7. За рахунок яких конструктивних змін можна збільшити навантажувальну здатність циліндричних з'єднань?

- зменшення діаметру одного з циліндрів
- збільшення довжини циліндрів
- зменшення діаметрів спряжених циліндрів
- збільшення діаметрів обох циліндрів у 1,5 раз
- зменшення довжини циліндрів мінімум у два рази

8. Чим пояснюється виникнення ударних навантажень у контактних навантажених з'єднаннях?

- наявністю мастила
- шорсткістю поверхонь
- наявністю зазору
- відсутністю амортизатора
- силами інерції

9. Оберіть вірне твердження

- навантаження у контактних циліндричних з'єднаннях вище ніж у сферичних при низьких значеннях σ_{max} (5 ÷ 20 МПа)

- навантаження у контактних сферичних з'єднаннях вище ніж у циліндричних при низьких значеннях σ_{max} (5 ÷ 20 МПа)

- навантаження у контактних сферичних з'єднаннях вище ніж у циліндричних при високих значеннях σ_{max} (50 ÷ 200 МПа)

- навантаження у циліндричних і сферичних контактних з'єднаннях однакові за умови дії низьких напружень на поверхні контакту

- немає віного

10. При якому співвідношенні довжини та діаметру циліндра проявляється різке збільшення навантажень на його кромках?

- 1,5 і більше
- 2,0 і більше
- при рівних значеннях довжини та діаметра
- 3,5
- 3,0

ТЕМА 6. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБІВ

План викладу матеріалу

6.1. *Поняття технологічності виробів.*

6.2. *Види технологічності.*

6.3. *Основні показники технологічності конструкцій виробу.*

6.4. *Забезпечення технологічності.*

6.1. Поняття технологічності виробів

Якість продукції машинобудування можна охарактеризувати великою різноманітністю властивостей, однією з яких є технологічність [22; 23]. Технологічність конструкції виробу має істотний вплив на зниження витрат праці, матеріалів і енергії, пов'язаних з його виготовленням, технічним обслуговуванням, ремонтом і утилізацією.

Конструктивні форми машин, складальних одиниць і окремих деталей визначаються їх службовим призначенням. При розробці конструкції машини в цілому і її окремих вузлів необхідно враховувати вимоги технології їх найбільш економічного виготовлення і збирання, а також можливі витрати в процесі експлуатації. Тому ***забезпечення технологічності конструкції виробу здійснюється на рівні деталей, складальних одиниць і виробу в цілому.***

Під технологічністю конструкції виробу розуміють сукупність властивостей конструкції, що визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску і умов виконання робіт. *Технологічність виражає* не функціональні властивості виробу, а його конструктивні особливості: склад і взаємне розташування вузлів; форму і розташування поверхонь деталей і з'єднань, їх стан, розміри, вид використовуваних матеріалів; кількість деталей в машині або вузлі, якість їх виготовлення і т.д.

Головним критерієм технологічності конструкції виробу є її економічна доцільність в прийнятих умовах виробництва, її трудомісткість, матеріаломісткість і

собівартість, а також витрати в процесі експлуатації виробу. Конструкцію машини, в якій ці критерії враховані, вважають технологічною.

Основним завданням відпрацювання конструкції виробу на технологічність є додання виробу такого комплексу властивостей, який забезпечує необхідну якість виробу при оптимальних витратах праці, матеріальних коштів і часу на технологічну підготовку виробництва, виготовлення, монтаж поза підприємства-виробника, технічне обслуговування та ремонт в конкретних умовах виробництва та експлуатації.

Оцінку технологічності конструкції даної машини в порівнянні з іншою, прийнятої за базу (зразок, аналог), виробляють, зіставляючи її трудомісткість, матеріаломісткість і собівартість, а також уніфікацію окремих деталей і вузлів, раціональність розчленування конструкції на окремі елементи, рівень взаємозамінності, масу машини, можливості скорочення термінів підготовки та освоєння виробництва, зручності її технічного обслуговування і ремонту в процесі експлуатації та інші показники.

Технологічність конструкції виробу – поняття відносне, оскільки технологічність конструкції однієї і тієї ж машини буде різною для різних типів виробництва. Виріб, технологічний в одиничному виробництві, може бути малотехнологічним в поточно-масовому і абсолютно нетехнологічним в поточно-автоматизованому виробництві.

Технологічність конструкції одного і того ж виробу буде різною для заводів з різними виробничими можливостями. Якщо в одиничному виробництві використовують верстати з програмним управлінням або інше переналагоджувану автоматичне обладнання, то характеристика технологічності конструкції виробів, що випускаються для цих виробів може змінитися в порівнянні з умовами одиничного виробництва, оснащеного універсальним устаткуванням. Слід зауважити, що науково-технічний прогрес в техніці і технології змінює рівень технологічності конструкції, тому раніше нетехнологічні конструкції можуть стати цілком технологічнішими при нових методах обробки.

6.2. Види технологічності

Розрізняють два види технологічності – виробничу і експлуатаційну [22; 23].

Виробнича технологічність проявляється у скороченні витрат коштів і часу на конструкторську і технологічну підготовку виробництва, на виготовлення, складання, контроль та монтаж виробів поза підприємством-виробником. Виробнича технологічність вирішується в процесі конструювання, технологічних розробок і виготовлення виробу, а експлуатаційна – у процесі конструювання.

Експлуатаційна технологічність проявляється у скороченні витрат коштів і часу на підготовку до використання виробу за призначенням, технічне обслуговування, поточний ремонт, зберігання, транспортування, діагностування та утилізацію виробу.

По властивостях розрізняють також два види технологічності конструкції – технологічну раціональність та конструктивну спадкоємність.

Технологічна раціональність конструкції виробу виражає її технічну сутність і характеризує можливість виготовлення та експлуатації даного виробу при використанні наявних у розпорядженні виробника і споживача продукції матеріальних, енергетичних, трудових та інших видів ресурсів. Технологічна раціональність конструкції виробу є сукупністю тих властивостей виробу, які виражають технологічність його конструкції з позиції відповідності прийнятих конструктивних рішень рівням виробництва, експлуатації та ремонту. Слід мати на увазі, що умови виробництва і експлуатації досить швидко можуть змінюватися, тому технологічну раціональність конструкції виробу необхідно розглядати і оцінювати стосовно до існуючих умов підготовки виробництва, виготовлення, технічного обслуговування і ремонту в певній обмеженій зоні зміни цих умов. Рівень технологічної раціональності конструкції виробу регулюється за допомогою доцільного за умовами виробництва, експлуатації та ремонту вибору і побудови складу та структури виробу, його конструктивних елементів,

матеріалів, схем з'єднання складових частин виробу і забезпечення оптимальної їхньої спадкоємності.

Конструктивна спадкоємність виробів, так само як і технологічна раціональність, являє собою сукупність тих властивостей виробу, які виражають технологічність його конструкції з позиції єдності повторюваності і змінності прийнятих в ній інженерних рішень. Конструктивна спадкоємність характеризує єдність повторюваності складових частин у даному виконанні виробу і вживаності в ньому нових складових частин, обумовлених новизною вимог до виробу за його функціональним призначенням, умовами виробництва або експлуатації.

Головними чинниками, що визначають вимоги до технологічності конструкцій, є вид виробу, обсяг випуску і тип виробництва.

Вид виробу визначає головні конструктивні та технологічні ознаки, що обумовлюють основні вимоги до технологічності виробу.

Обсяг випуску та тип виробництва визначають вид технологічного устаткування і оснащення, ступінь механізації та автоматизації технологічних процесів і рівень спеціалізації всього виробництва. ***Технологічність конструкції можна оцінювати якісно і кількісно.***

Якісна оцінка («добре – погано», «допустимо – недопустимо») базується на інженерно-візуальних методах оцінки і характеризує технологічність конструкції узагальнено, на основі досвіду виконавця. Така оцінка проводиться по окремих конструктивних і технологічних ознаках для досягнення високого рівня технологічності конструкції виробу. Як правило, це оцінка передуює кількісній оцінці, але може бути сумісна з нею на всіх стадіях проектування. Якісна порівняльна оцінка варіантів конструкції припустима на всіх стадіях проектування, коли здійснюється вибір кращого конструктивного рішення і не потрібно визначення ступеню відмінності технологічності порівнюваних варіантів. При порівнянні варіантів конструктивних виконань виробу в процесі проектування якісна оцінка досить часто дозволяє вибрати кращий варіант виконання або встановити доцільність

визначення чисельних значень показників технологічності конструкції виробу усіх порівнюваних варіантів.

Кількісна оцінка технологічності конструкції виробу здійснюється за допомогою системи показників, яка включає:

- базові (вихідні) значення показників технологічності, які є граничними нормативами технологічності, обов'язковими для використання при розробці виробу;

- значення показників технологічності, досягнуті при розробці виробу;

- показники рівня технологічності конструкції розроблюваного виробу.

Базові значення показників технологічності вказуються в технічному завданні на розробку виробу, а за окремими видами виробів, номенклатура яких встановлюється галузями, у галузевих стандартах.

Базові, досягнуті і показники рівня технологічності конструкції виробу вносяться в «Карту технічного рівня і якості продукції» за ГОСТ 2.116-71 [24]. Дані про рівень технологічності конструкції повинні використовуватися в процесі оптимізації конструктивних рішень на стадіях розробки конструкторської документації при ухваленні рішення про виробництво виробів, аналізі технологічної підготовки виробництва, розробці заходів щодо підвищення рівня технологічності конструкції виробу і ефективності його виробництва і експлуатації та ін.

6.3. Основні показники технологічності конструкцій виробу

Показники технологічності конструкції входять в групу ресурсозберігаючих показників якості, характеризують її властивості, що визначають пристосованість конструкції до досягнення оптимальних витрат під час виробництва, експлуатації, ремонті для заданих значень показників якості продукції, об'єму випуску і умов роботи [22].

Показники технологічності конструкції не можна плутати з показниками ресурсоемності робочого процесу виробу, які теж входять у групу ресурсозберігаючих показників якості (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Ресурсозберігаючі показники якості виробу

Показники ресурсоємності робочого процесу характеризують властивості виробу, що визначають економічність його функціонування, тобто ефективність використання ресурсів (енергії, праці, матеріалів, часу). До таких показників відносять: питому витрату електроенергії, питому витрату палива, час реалізації робочого процесу, т.п.

Основні показники технологічності конструкції та властивості, які вони характеризують наведено на рис. 6.2.

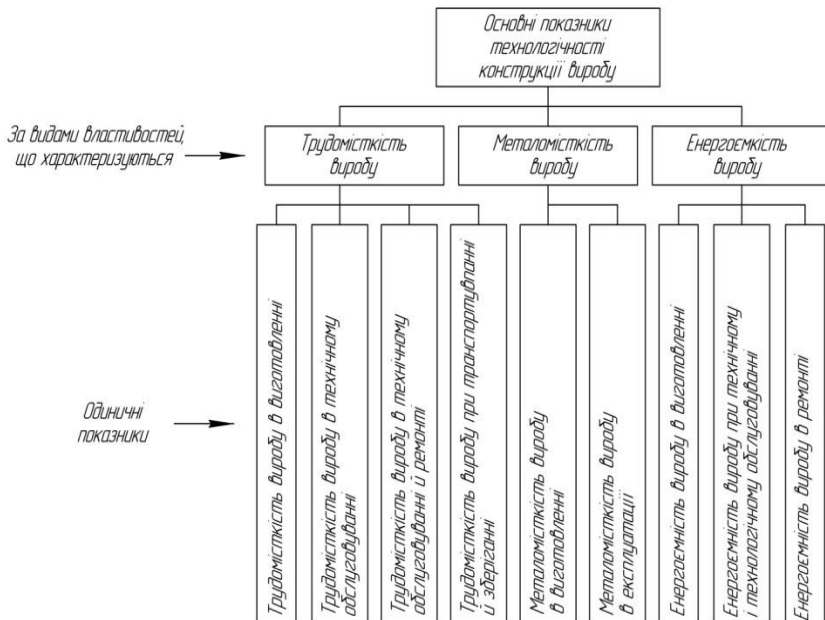


Рис. 6.2. Основні показники технологічності конструкції та властивості, які вони характеризують

Разом із наведеними групами до основних показників відносять показники технологічної собівартості виробу, що характеризують витрати різних видів ресурсів комплексно у вартісному виразі.

6.3. Основні показники технологічності конструкцій виробу

Показників технологічності виробу

1. Абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення виробу:

$$T_{\text{вир}} = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (6.1)$$

де T_i – трудомісткість виготовлення i -ї складової частини виробу у нормо годинах;

n – число складових частин у виробі.

2. Рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення:

$$K_{\text{р.т.}} = \frac{T_{\text{виг}}}{T_{\text{баз}}}, \quad (6.2)$$

де $T_{\text{баз}}$ – базовий показник трудомісткості виготовлення;

$T_{\text{виг}}$ – досягнуте значення трудомісткості виготовлення.

3. Технологічна собівартість виробу: C_v – сума витрат на одиницю виробу під час здійснення технологічного процесу.

4. Рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю:

$$K_c = \frac{C_d}{C_b}, \quad (6.3)$$

де C_d – собівартість, яка досягнута під час виготовлення виробу;

C_b – базовий показник собівартості.

Показники технологічності деталі

1. Коефіцієнт уніфікації деталі

$$K_{у.д.} = \frac{Q_{п.}}{Q_{у.п.}}, \quad (6.4)$$

де $Q_{п.}$ – загальна кількість поверхонь деталі, яка підлягає оцінці;
 $Q_{у.п.}$ – кількість уніфікованих поверхонь.

До уніфікованих відносять: галтелі, різі, фаски, шліци, шпонкові пази, проточки.

2. Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = \frac{M_{д.}}{M_{з.}}, \quad (6.5)$$

де $M_{д.}$ – маса деталі;

$M_{з.}$ – маса заготовки.

Даний показник характеризує досконалість конструкції деталі та заготовки, технології виготовлення заготовки, а також об'єм механічної обробки різанням, як найбільш трудомісткої стадії.

3. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{то} = 1 - \frac{1}{IT_{сер}} = 1 - \frac{\sum n_q}{\sum IT_q n_q}, \quad (6.6)$$

де $IT_{сер}$ – середній квалітет точності обробки поверхонь виробу;

IT_q – квалітет точності обробки;

q – цифровий індекс квалітету точності поверхні деталі;

n_q – число розмірів відповідного квалітету точності.

4. Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ra_{сер}} = \frac{\sum n_{Ra_i}}{\sum Ra_i n_{Ra_i}}, \quad (6.7)$$

де Ra_i – числове значення шорсткості i -ї поверхні;

n_{Ra_i} – число поверхонь відповідної величини шорсткості, для яких дана шорсткість є рівною.

Виріб рахується технологічним, якщо:

$K_{p.t.}, K_c, K_{в.м.} < 1,0$ (у цьому випадку трудомісткість та собівартість виготовлення виробу менше базового значення, а використання конструкційного матеріалу є раціональним);

$K_{у.д.} > 0,6; K_{то} \geq 0,875; K_{ш} \leq 0,32.$

6.4. Забезпечення технологічності

У даному пункті викладено інформацію згідно міждержавного стандарту «Забезпечення технологічності конструкції виробів» [23].

Забезпечення технологічності конструкції виробу включає:

- відпрацювання конструкції виробу на технологічність на всіх стадіях розробки виробу під час технологічної підготовки виробництва і, в обґрунтованих випадках, під час виготовлення виробу;

- удосконалення умов виконання робіт під час виробництва, експлуатації та ремонті виробів і фіксація прийнятих рішень у технологічній документації;

- кількісне оцінювання технологічності конструкції виробів;

- технологічний контроль конструкторської документації;

- підготовку та внесення змін у конструкторську документацію за результатами технологічного контролю, які забезпечують досягнення базових значень показників технологічності.

При проведенні відпрацювання конструкції виробу на технологічність слід враховувати:

- вид виробу, ступінь його новизни і складності, умови виготовлення, технічного обслуговування і ремонту, а також монтажу поза підприємством на якому виготовляють виріб;

- перспективність виробу, обсяг його випуску;

- передовий досвід підприємства, на якому виготовляють виріб, та інших підприємств з аналогічним виробництвом, нові високопродуктивні методи і процеси виготовлення;

- оптимальні умови конкретного виробництва при раціональному використанні наявних засобів технологічного оснащення і виробничих площ і планомірному впровадженні нових передових технологічних методів і засобів виробництва;

- зв'язок досягнутих показників технологічності з іншими показниками якості виробу.

Обробка конструкції виробу на технологічність повинна забезпечувати на основі досягнення технологічної раціональності і оптимальної конструктивної і технологічної наступності конструкції виробу вирішення таких основних завдань:

- зниження трудомісткості і собівартості виготовлення виробу і його монтажу поза підприємством, що його виготовляє;

- зниження трудомісткості, вартості та тривалості технічного обслуговування і ремонту виробу;

- зниження найважливіших складових загальної матеріаломісткості виробу – витрати металу і паливно-енергетичних ресурсів при виготовленні, монтажі поза підприємством, що його виготовляє, технічне обслуговування і ремонт.

Комплекс робіт по зниженню трудомісткості і собівартості виготовлення виробу і його монтажу поза підприємством, яке його виготовляє, включає:

- підвищення серійності виробу і його складових частин під час виготовлення (обробка, складання, випробування) за допомогою стандартизації, уніфікації і забезпечення конструктивної подібності;

- обмеження номенклатури складових частин, конструктивних елементів і застосовуваних матеріалів;

- застосування в розроблюваних конструкціях конструктивних рішень, які відповідають сучасним вимогам;

- застосування високопродуктивних і маловідходних технологічних рішень, заснованих на типізації процесів та інших прогресивних формах їхньої організації;

- застосування високопродуктивних стандартних засобів технологічного оснащення, яке забезпечить найкращу механізацію і автоматизацію праці у виробництві;

- використання конструктивних рішень, що дозволяють зменшити витрати на забезпечення: доступу до складових частин; установки і знімання складових частин виробу;

- використання конструктивних рішень, що забезпечують можливість транспортування виробу в зібраному вигляді або у вигляді закінчених складових частин, що не вимагають при монтажі розбирання для розконсервації, ревізії, а також операцій по підгонці;

- використання конструктивних рішень, що полегшують і спрощують умови виготовлення і монтажу поза межами підприємства-виготовлювача для обмеження вимог до кваліфікації виробників і монтажників.

Комплекс робіт по зниженню трудомісткості, вартості та тривалості технічного обслуговування і ремонту виробу в загальному випадку включає:

- використання конструктивних рішень, що дозволяють зменшити витрати на проведення підготовки до використання за призначенням, технічного контролю, технічного діагностування та на транспортування виробів;

- використання конструктивних рішень, що дозволяють зменшити витрати на забезпечення: доступу до складових частин; заміни складових частин виробу такими ж частинами при збереженні встановленої якості виробу в цілому; відновлення геометричних характеристик і якості поверхні деталі;

- підвищення вимог щодо уніфікації та стандартизації складових частин виробу;

- обмеження числа змінюваних складових частин виробу, номенклатури матеріалів, інструменту, допоміжного обладнання та пристроїв;

- використання конструктивних рішень, які полегшують і спрощують умови технічного обслуговування та ремонту.

Комплекс робіт по зменшенню матеріаломісткості виробу включає:

- застосування раціональних асортиментів і марок матеріалів, раціональних способів отримання заготовок, методів і режимів зміцнення деталей;

- розробку і застосування прогресивних конструктивних рішень, які дозволяють підвищити ресурс виробу і використовувати маловідходні та безвідходні технологічні процеси;

- розробку раціонального компонування виробу, що забезпечує скорочення витрат матеріалу при монтажі поза підприємством, яке виготовляє виріб.

Питання для самоперевірки та повторення

1. Дайте визначення конструктивної технологічності виробу.

2. Які основні завдання відпрацювання конструкції виробу на технологічність?

3. Основні види технологічності.

4. Назвіть головні чинники, що визначають вимоги до технологічності конструкції.

5. У чому полягає якісна оцінка технологічності конструкції виробу?

6. У чому полягає кількісна оцінка технологічності конструкції виробу?

7. Назвіть основні показники технологічності конструкції.

8. Як оцінюють рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення?

9. Як оцінюють рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю?

10. Наведіть вирази для визначення коефіцієнтів уніфікації та використання матеріалу.

11. Які засоби забезпечення технологічності конструкції виробу відомі?

12. Які фактори слід враховувати при проведенні відпрацювання конструкції виробу на технологічність?

13. Назвіть комплекс робіт по зменшенню матеріаломісткості виробу.

Тестові питання

1. Що виражає технологічність?
 - функціональні властивості виробу
 - конструктивні особливості
 - технологічні властивості
 - експлуатаційні властивості
 - матеріаломісткість виробу
2. Які види технологічності розрізняють по властивостями?
 - технологічну раціональність та конструктивну спадкоємність
 - технологічну спадкоємність та конструктивну раціональність
 - експлуатаційну та виробничу
 - техніко-технологічну та експлуатаційну
 - за собівартістю та за часом виготовлення виробу
3. Оберіть перелік головних чинників, що визначають вимоги до технологічності конструкції
 - вид виробу, обсяг випуску і тип виробництва
 - конструкція виробу, матеріал виробу, тип виробництва
 - тип виробництва, об'єм матеріалу, тип механічної обробки
 - кількість уніфікованих поверхонь
 - кількість отворів, галтелей у складі виробу
4. Яку оцінку виробу проводять на основі інженерно-візуальних методів?
 - якісну оцінку технологічності
 - кількісну оцінку технологічності
 - оцінку експлуатаційних властивостей виробу
 - оцінку функціональності
 - функціонально-вартісну оцінку
5. До основних показників технологічності конструкції відносять
 - трудомісткість, матеріалоемність, енергоемність
 - матеріалоемність, питома маса,
 - енергоемність, питома маса, конструктивна раціональність

- питома маса, питома енергоємність
- конструктивна досконалість

6. Оберіть вірний вираз для визначення коефіцієнту уніфікації деталі

- $K_{у.д.} = \frac{Q_{п}}{Q_{у.п.}}$
- $K_{у.д.} = \frac{Q_{у.п.}}{Q_{п}}$
- $K_{у.д.} = Q_{у.п.} \cdot W$
- $K_{в.м.} = \frac{M_{д}}{M_{з}}$
- $K_{с} = \frac{C_{д}}{C_{б}}$

7. Оберіть вірний вираз для визначення коефіцієнту точності обробки

- $K_{то} = 1 + \frac{1}{IT_{сеп}}$
- $K_{то} = \frac{1}{IT_{сеп}}$
- $K_{то} = 1 - \frac{IT_{сеп}}{2}$
- $K_{то} = 1 + \frac{IT_{сеп}}{2}$
- $K_{то} = 1 + IT_{сеп}$

8. Оберіть вірний вираз для визначення коефіцієнту шорсткості поверхні

- $K_{ш} = \frac{\sum n_{Ra_i}}{\sum Ra_i \cdot n_{Ra_i}}$
- $K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ra_{сеп}}$
- $K_{ш} = 1 + \frac{1}{Ra_{сеп}}$
- $K_{ш} = Ra_{сеп} + \frac{\sum n_{Ra_i}}{\sum Ra_i \cdot n_{Ra_i}}$
- $K_{ш} = Ra_{сеп} - \frac{\sum n_{Ra_i}}{\sum Ra_i \cdot n_{Ra_i}}$

9. Які умови повинні виконуватись для забезпечення технологічності виробу?

- $K_{у.д.} > 0,6$; $K_{то} \geq 0,875$; $K_{ш} \leq 0,32$
- $K_{у.д.} > 0,78$; $K_{то} \geq 0,875$; $K_{ш} \leq 0,52$

- $K_{у.д.} < 0,6$; $K_{то} \ll 0,875$; $K_{ш} \leq 0,3$
- $K_{у.д.} > 0,25$; $K_{то} \geq 0,275$; $K_{ш} \leq 0,34$
- $K_{у.д.} < 0,6$; $K_{то} \leq 0,875$; $K_{ш} > 0,3$

10. Який показник характеризує досконалість конструкції деталі та заготовки, технології виготовлення заготовки?

- коефіцієнт використання матеріалу
- коефіцієнт шорсткості поверхні
- коефіцієнт точності обробки
- коефіцієнт уніфікації деталі
- коефіцієнт стандартизації.

ТЕМА 7. ЗРІВНОВАЖЕНІСТЬ ТА ВІБРОЗАХИЩЕНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ

План викладу матеріалу

7.1. Загальні положення

7.2. Зрівноваження та сприйняття не зрівноважених сил і моментів

7.3. Конструктивні методи пом'якшення ударів, зменшення динамічних навантажень, зменшення втрат енергії під час гальмування та реверсуванні

7.4. Основні види віброзахисту

7.5. Демпфування вібрацій

7.1. Загальні положення

Процес експлуатації сучасних машин характеризується безперервним збільшенням транспортних швидкостей, інтенсифікацією виробничих процесів, що призводить до виникнення значних динамічних навантажень, які передаються як на елементи машин так й на операторів. Підвищені вібраційні навантаження приводять до зниження міцності та надійності вузлів і агрегатів. Виявлення джерел збудження – важлива задача конструювання [25]. Причинами виникнення коливань є:

- похибки геометричної форми та шорсткість;
- змінні деформації;
- не зрівноваженість відцентрових сил;
- періодичний реверс, що призводить до незрівноваженості сил інерції;
- нестабільний характер тертя та мащення поверхонь тертя.

Вплив окреслених факторів виникнення коливань можна зменшити за рахунок обґрунтування параметрів в форми поверхонь, якості та точності їхнього виготовлення, а також за рахунок зрівноваження або балансування.

Зрівноваження сил тяжіння, сил інерції, пом'якшення змінних силових впливів гарантує забезпечення ряду позитивних якостей машин [26].

Зрівноваження дозволяє зменшити або навіть усунути вібрації, підвищити потужність приводу та ККД. Таке покращення показників пояснюється зменшенням реакцій у кінематичних парах механізмів машин.

Якщо за допомогою зрівноваження сил і мас не можливо усунути вібрації, застосовують методи віброзахисту.

7.2. Зрівноваження та сприйняття незрівноважених сил і моментів

Метою зрівноваження сил інерції є зменшення зовнішньої віброактивності механізмів. Зрівноваження полягає у такому розподілі мас ланок, при якому головний вектор і головний момент сил інерції, які діють на основу, дорівнюють нулю. Задачу зрівноваження не доцільно формулювати лише як зменшення реакцій у кінематичних парах і вирівнюванні навантаження двигуна. Це пояснюється тим, що дані вимоги у деяких випадках несумісні з основною метою зрівноваження. Відомо, що найбільш розповсюджений метод зрівноваження – це застосування противаг, що приводить до збільшення моменту сил інерції ланок і, як наслідок до додаткового навантаження двигуна у режимі неуставленого руху та збільшення реакцій у кінематичних парах. Зрівноваження, зменшуючи змінні складові сил, часто приводить до загального збільшення маси ланок машини, збільшення часу розгону та гальмування через зростання моменту інерції.

Широкого застосування набув метод встановлення противаг, який приводить до збільшення моменту сил інерції ланок, до додаткового навантаження двигуна під час неуставленого руху та до збільшення реакцій у кінематичних парах. Для плоского механізму (рис. 7.1) масу ланки 2 замінюють масами $m_{A_2} = \frac{m_2 l_{BS_2}}{l_{BC}}$, $m_{B_2} = m_2 - m_{A_2}$. Сили інерції ланок 1 і 3 можна зрівноважити за рахунок встановлення противаг m_E та m_D . При цьому повинні виконуватись умови: $m_E l_{OS_1} = m_1 l_{OS_1} + m_{A_2} l_{OA}$; $m_D l_{CD} = m_3 l_{CS_3} + m_{B_2} l_{CB}$.

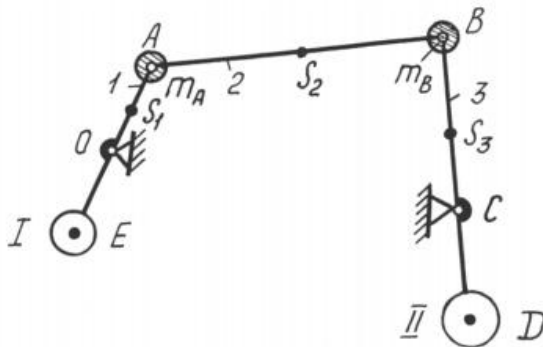


Рис. 7.1. Схема механізму з противагами

Найбільш прийнятним шляхом зрівноваження є паралельне з'єднання двох (та більше) механізмів [26], які працюють у протилежних фазах (рис. 7.1). На рис. 7.2, а представлено схему двох механізмів (DBCKRPLi DAVMQUN), які мають спільний симетричний кривошип AB і привод D. За умови неперервного руху кривошипу сили інерції F_i вихідних ланок 1 і 2 завжди направлені на зустріч одна одній. На рис. 7.2, б вихідні ланки (сита) 1 і 2 підвішені на паралельних коромислах (RKi PL, QMiUN) однакової довжини. Рух ситам у протифазі передається від кривошипу ADB через шатуни BC і AV.

У наведених механізмах повного зрівноваження не досягнуто через те, що головний момент сил інерції не може дорівнювати нулю. Пояснюється це тим, що опори рознесено в просторі. Наведений приклад доводить, що використання паралельного з'єднання не вирішує повністю задачу усунення коливань у конструкції. У даному випадку потрібно використовувати віброізолюючі опори, як міру віброзахисту.

Відомим є метод усунення незрівноваженості обертових тіл, який називають *балансування* (статичне зрівноваження). Динамічне зрівноваження здійснюють на спеціальних балансувальних верстатах.

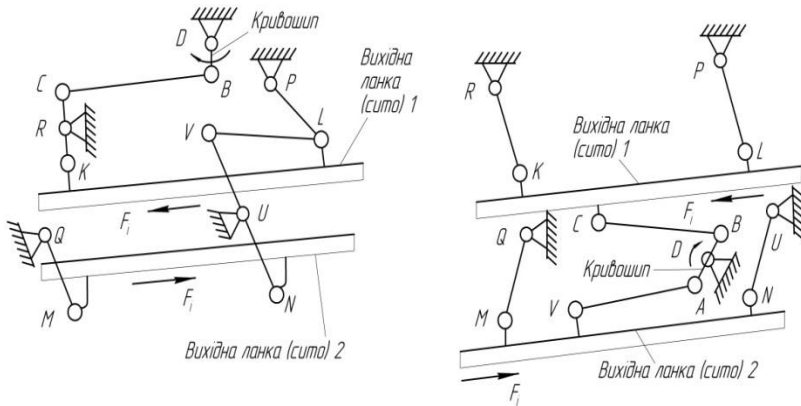


Рис. 7.2. Зрівноваження механізмів, які з'єднані паралельно за рахунок зустрічного напрямку сил інерції F_i

Застосування даних верстатів не завжди забезпечує бажаний результат. Тому рекомендовано застосовувати автобалансування – автоматичне компенсування зміни дисбалансів ротора в умовах експлуатації. Використання автобалансування є доцільним у випадку коли має місце зміна дисбалансу та порушення початкового балансування у ході експлуатації через нерівномірне зношування деталей, налипання пилю, відпрацьованого матеріалу, деформування деталей внаслідок перегріву, тощо. Автобалансування дозволяє зменшити вібрації. Автобалансувальні устаткування застосовують найчастіше у верстатах, центрифугах, сепараторах, механізованому інструменті. Автобалансуючі устаткування поділяють на активні та пасивні. В активних устаткуваннях використовують енергію додаткового джерела. В пасивних використовують енергію самого ротора.

Зменшення нерівномірності руху – задача, яка повинна вирішуватись у ході конструювання машин. Нерівномірність ходу у будь-якій мірі проявляється практично в усіх машинах із рухомими ланками. Обумовлює нерівномірність зміна сил, мас, жорсткості за цикл усталеного руху.

У механізмах зменшення нерівномірності руху досягають збільшенням постійної складової приведеного моменту інерції, наприклад, за рахунок встановлення маховика (рис. 7.3).

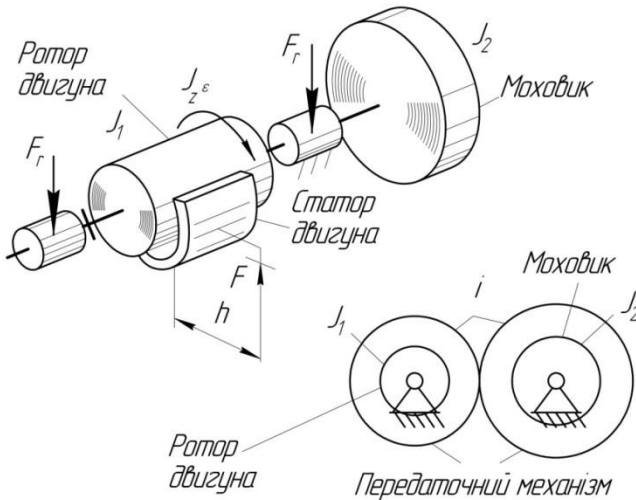


Рис. 7.3. Підвищення плавності ходу та сприйняття реактивного моменту

У сучасних машинах часто задачу зменшення вібронавантажень не можна вирішити за рахунок зрівноваження. Наприклад, в барабанах, які обертаються із високою кутовою швидкістю, розподіл робочого матеріалу не можливо впорядкувати, що приводить до постійного зміщення центру мас (рис. 7.3).

На барабан (рис. 7.4) діє відцентрова сила F_a , під впливом якої корпус барабану розгойдується в просторі. За умови закріплення барабану на жорсткій основі, вона зруйнується. Вирішенням задачі зменшення вібровпливу на конструкцію є встановлення пружних підвісок (1, 2, 3), які сприймають відцентрову силу та реактивний момент. Збільшити ефект погашення коливань можна за рахунок додаткового встановлення направляючих демпфуючих опор, які обмежують осьові переміщення.

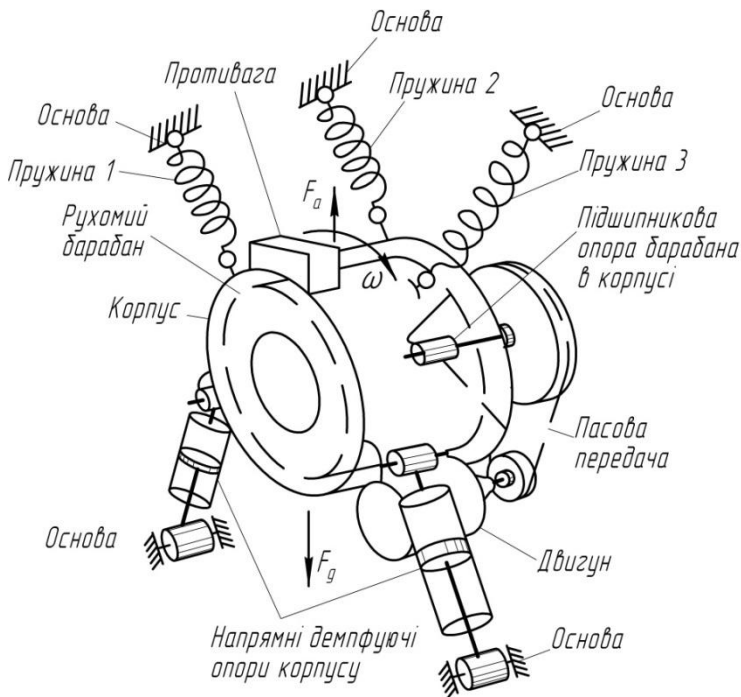


Рис. 7.4. Схема барабану

7.3. Конструктивні методи пом'якшення ударів, зменшення динамічних навантажень, зменшення втрат енергії під час гальмування та реверсуванні

Задача пом'якшення удару повинна бути вирішена в ході конструювання машин з метою підвищення терміну роботоздатності. Удар виникає під час запуску двигуна, при переключенні коробки передач, тощо. Величина удару залежить від маси тіл, які дотикаються, їхньої швидкості, напрямку їхньої взаємодії. Пом'якшення удару можна досягти наступним чином:

- 1) збільшити час дотику деталей за рахунок введення пружного елемента (рис. 7.5, а) або пари тертя (рис. 7.5, б);
- 2) забезпечити плавну зміну кута тиску від 90° до 0° (рис. 7.5, в);

3) забезпечити плавне вирівнювання швидкостей руху спряжених ланок з моменту дотику до зупинки за рахунок спільного руху на протязі деякого відрізка часу (рис. 7.5, з);

4) забезпечити плавне збільшення тиску у парі тертя фрикційного гальма або фрикційної муфти (рис. 7.5, д);

5) забезпечити плавне гальмування за рахунок зміни перерізу робочої рідини, яка подається;

б) виключити вільний рух тіла під час реверсування навантаження (рис. 7.5, е).

На рис. 7.5, а пом'якшення ударів відбувається за рахунок кільцевої пружини. Під дією сили F елементи пружини деформуються в радіальному напрямку. При цьому вздовж твірних конічних поверхонь діють сили тертя. За умови розвантаження пружини сили пружності долають сили тертя спокою та сили тертя ковзання. За рахунок сил тертя розсіюється значна частина енергії удару.

На рис. 7.5, б подана схема муфти зчпної з плавним збільшенням обертового моменту за рахунок поступового притискання колодок до ланки 2 або затискання дисків.

На рис. 7.5, в подано два варіанти напрямної для рухомого тіла. Варіант 1 створює умови для жорсткого удару за рахунок різкої зміни напрямку руху. За умови використання варіанту 2 удар помягшується за рахунок плавної зміни напрямку руху.

На рис. 7.5, г розглядається схема переміщення листа паперу, який зупиняється рухомим упором, який переміщується вздовж куліси АВ за допомогою кулачкового механізму та приводу D. Один з кулачків приводить в рух кулісу, впливаючи на неї в точці А та змінює напрямок руху паперу. Інший кулачок через кінематичний ланцюг поступово пригальмовує рух листа (без втрат його поздовжньої стійкості) за рахунок запрограмованого руху упору.

На рис. 7.5, д подана схема зчпної муфти з плавним збільшенням обертового моменту. Рух ведучої ланки D передається пружині кручення 1, яка під час розгону розкручує маховик, закріплений на гайці гвинтової передачі. Гайка переміщується праворуч, стискає пружини 2 і лише після цього

ведучі фрикційні диски затискають ведений диск, що з'єднаний з вихідною ланкою W.

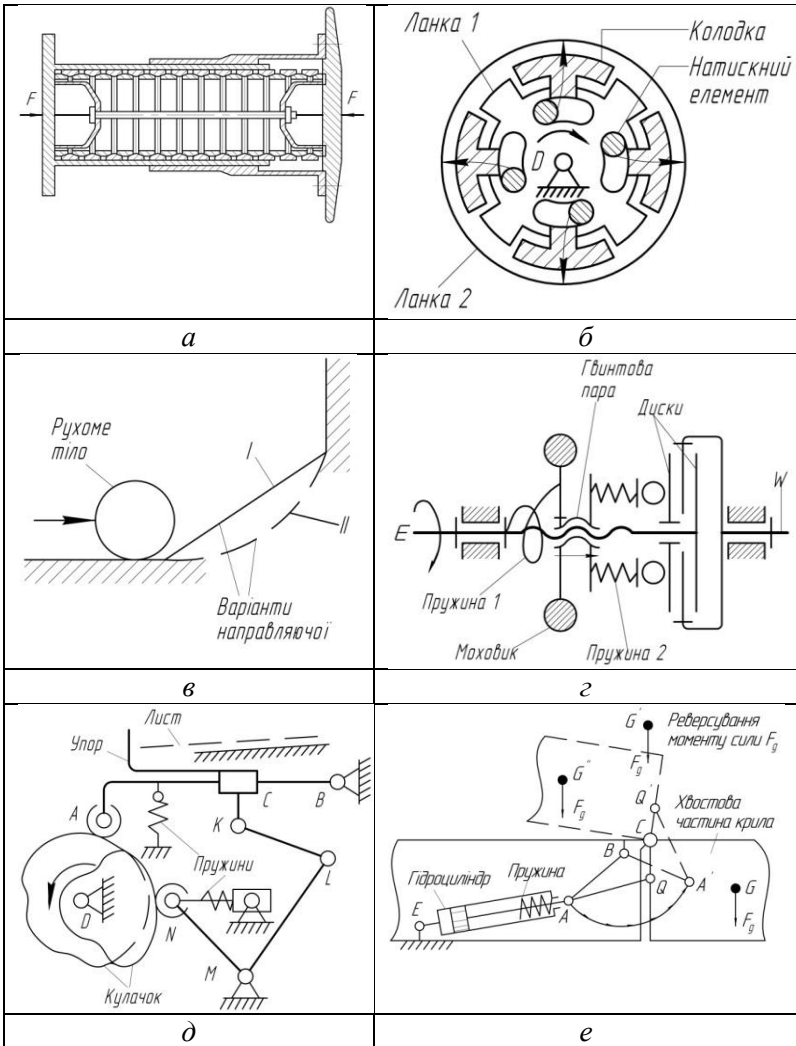


Рис. 7.5. Конструктивні методи пом'якшення ударів

На рис. 7.5, *е* подана схема механізму для повороту хвостової частини крила літака відносно центральної його частини. Частини крила з'єднані шарнірно в точці С. В точці А на механізм діє гідроциліндр, який з'єднано шарнірно з центральною частиною в точці Е. За допомогою гідроциліндру коромисло АВ повертається і через шатун АQ повертає кривошип і хвостову частину на кут майже 180°. За умови переміщення центру мас з точки G' у точку G'' момент з боку хвостової частини буде вже рушійним. З метою унеможливлення такого явища у кінематичний ланцюг введено пружину, яка починає працювати за умови реверсування моменту.

На рис. 7.6 подано схеми пом'якшення ударів за рахунок пружин. На рис. 7.6, *а* використана пружина розтягу. За умови використання пружини розтягу маємо жорсткий удар. На схемі (рис. 7.6, *б*) удар гаситься пружиною стиску. У даному випадку удар гаситься плавно за рахунок змикання її витків.

Бачимо, що в усіх наведених прикладах вирішується задача збільшення часу удару, з метою розсіювання енергії удару, або її перерозподілу на інші ланки. Якщо енергія недостатньо швидко розсіюється або перерозподіляється, то обов'язково виникає зворотній рух тіл, який може перейти у коливальний процес (вібрацію).

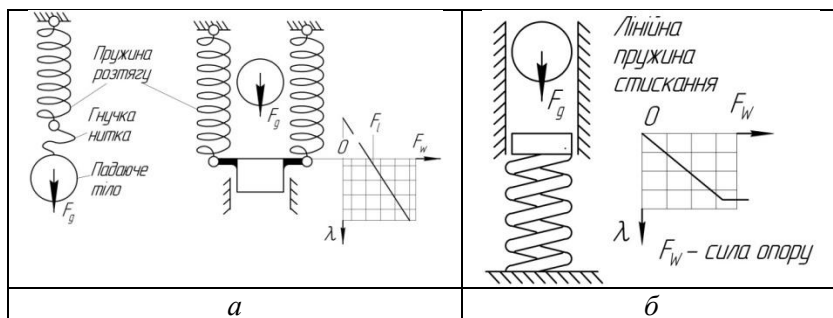


Рис. 7.6. Схема гасіння коливань за рахунок пружини

7.4. Основні види віброзахисту

У ході конструювання машин необхідно вирішити важливу задачу віброзахисту. Вирішення даної задачі на стадії конструювання дає можливість забезпечити вимоги сучасного споживача щодо досконалості машини за шумом і вібрацією.

Для забезпечення віброзахисту використовують два способи:

- 1) активний віброзахист;
- 2) пасивний віброзахист (віброізоляція).

Вибір конкретного конструктивного рішення віброзахисту визначається вимогами до допустимого рівня вібрації. Найбільш доступним є спосіб пасивної віброізоляції. Застосування активної віброізоляції – значно ефективніший та універсальний спосіб, який є значно дорожчим ніж пасивна віброізоляція. Динамічне погашення вібрацій ґрунтується на порівняно простих конструктивних рішеннях та не вимагає спеціалізованої електронної системи керування. Застосування даного способу обмежено параметрами вібрації. Динамічне погашення вібрацій – спосіб віброзахисту за рахунок приєднання до об'єкту захисту віброгасія, реакції якого зменшують розмах вібрації об'єкту в точках приєднання системи.

Динамічне гасіння реалізують за рахунок налаштування віброгасія на частоту збудженої вібрації. Елементи віброгасія формують силовий вплив на об'єкт, спрямований назустріч вимушуючій силі. Функціонує віброгасій або за рахунок перерозподілу енергії вібрації (рис. 7.7) або за рахунок додаткового джерела енергії (активний віброзахист) рис. 7.8.

Найпростіший віброгасій виконується у вигляді інерційного елемента 1, який пов'язано з об'єктом, що підлягає захисту 2 (рис. 7.7, а) за допомогою пружних елементів E2 та E3. Об'єкт зв'язано з основою пружиною E1 та виконує коливальні рухи під впливом збуджуючої сили F. Система віброгасія налаштується таким чином, що на частоту збудження припадає антирезонанс. Збуджуюча сила компенсується реакцією з боку віброгасія.

На рис. 7.7, б полено схему віброгасія, яка містить послідовно з'єднані листові пружини E2 у вигляді двохопорної балки та E2' у вигляді консольних балок. Інерційні елементи виконано у вигляді вантажів, маса яких є регульованою.

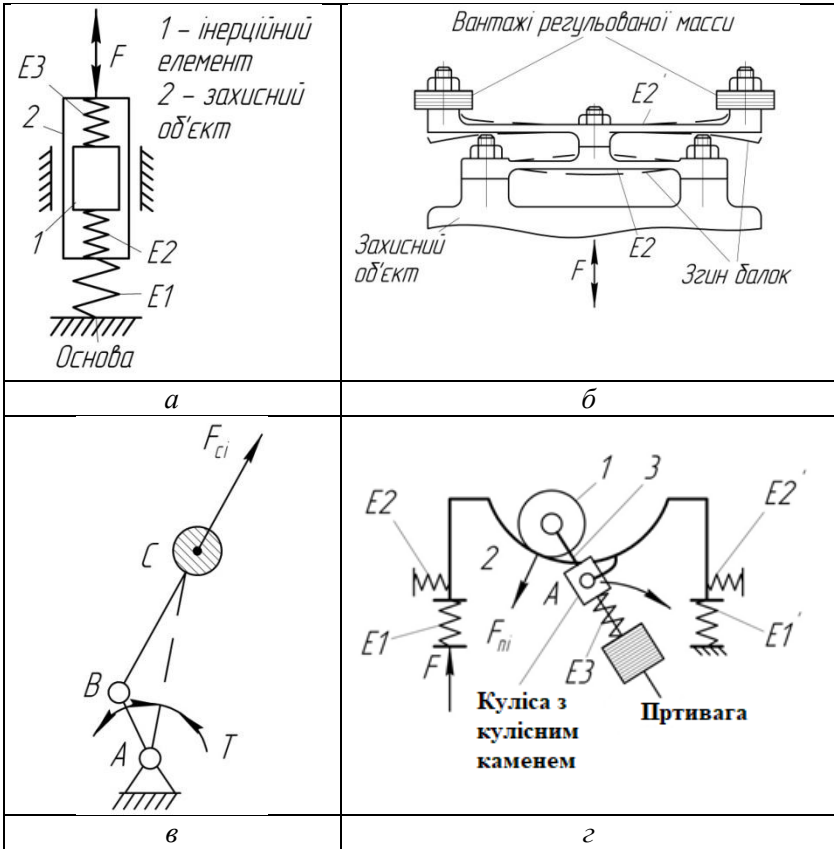


Рис. 7.7. Динамічне гасіння вібрацій

З метою погашення коливань можливим є використання маятникових гасіїв (рис. 7.7, в). Обертова вібрація ланки АВ приводить до того, що маятник гойдається відносно нього. Момент реакцій – пари сил у шарнірах А та В (від відцентрової сили F_{ci}) протидіє вимушеному моменту Т.

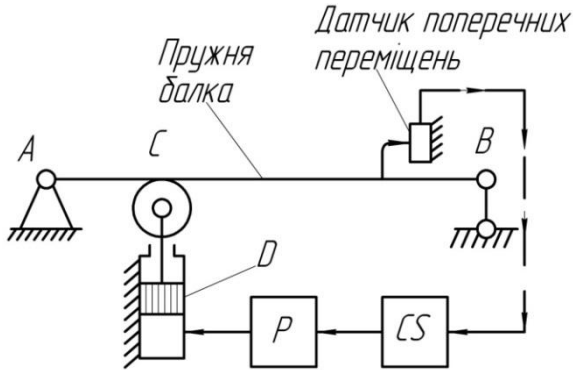
На схемі 7.7, z – маятниковий віброгасій. Даний віброгасій призначено для поперечної стабілізації платформи транспортного засобу за рахунок пружного під'єднання до неї інерційного елемента, який виконує гойдальні рухи. Криволінійна направляюча 2 кріпиться до платформи транспортного засобу. Інерційний елемент 1 виконаний у вигляді котка і шарнірно з'єднаний з ланкою 3, яка переміщується у кулісі. Куліса шарнірно з'єднана з платформою в точці А. За умови розгойдування платформи точка А переміщується, як показано штриховою стрілкою, коток 1 прагне зберегти своє положення у просторі і котиться по направляючій. За умови збільшення частоти коливань максимальне стискання пружини зростає, а реакція F_n котка 2 на направляючу збільшується і протидіє вимушеній силі F . Реакція F_n направлена назустріч швидкості переміщень точок платформи та прагне притиснути платформу до дорожнього полотна. Маятниковий віброгасій за рахунок переміщення і підйому котка і стискання пружини акумулює енергію вібрації при віддаленні платформи від середнього положення і вертає її за умови наближення платформи до середнього положення. При цьому амплітуда коливань зменшується. Активний віброзахист здійснюють за схемами, представленими на рис. 7.8.

Активний віброзахист передбачає: замір параметрів вимушеного впливу, розробка сигналів управління об'єктом за результатами замірів; у відповідності з сигналами управління впливають на об'єкт захисту з метою зменшення вібрації. Впливи на об'єкт можуть бути наступними:

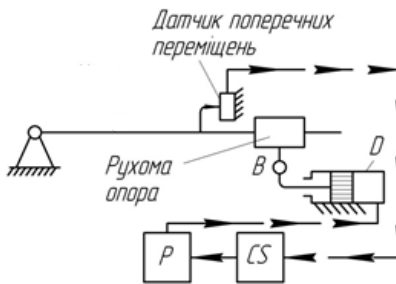
- зміна параметрів самого об'єкту або параметрів його з'єднання з опорою (основою, фундаментом);
- створення силової протидії з метою компенсації переміщення об'єкту та динамічних реакцій в опорах;
- зміна параметрів елементів віброзахисту.

На рис. 7.8, a об'єкт 1 виконано у вигляді пружної балки з опорами А та В. За допомогою датчика заміряють переміщення балки. Сигнал поступає в блок управління CS , де виробляється відповідна команда джерелу енергії P . Від джерела енергії приводиться в дію виконавче устаткування D , яке встановлено

між балкою і основою. Виконавче устаткування передає точці С балки потрібне компенсаційне переміщення. Швидкодія зворотнього зв'язку визначає ефективність віброзахисту. У якості основи для об'єктів, що переміщуються, використовують гіроскоп або платформу, яка відслідковує положення гіроскопу.



а



б

Рис. 7.8. Схеми активного віброзахисту

На рис. 7.8, б опора В виконана рухомою. Переміщення здійснюється за допомогою виконавчого устаткування Д, управління яким відбувається аналогічно до попередньої схеми. Переміщення опори приводить до зміни жорсткості балки в напрямку, що відповідає зменшенню вібрації.

Активний віброзахист має широке застосування, наприклад, підвіски агрегатів та транспортних засобів. У них передбачають регулювання жорсткості, задання компенсуючи переміщень та активацію демпфування.

7.5. Демпфування вібрацій

Демпфування вібрації – процес, який характеризується повторюваністю та розсіюванням енергії. Принцип функціонування демпферів заснований на перетворенні механічної енергії у теплову з наступною її передачею навколишньому середовищу за рахунок руху тіла у магнітному полі, ударів твердих тіл, зовнішнього тертя за умови відносного ковзання ланок механізму (рис. 7.9, а), внутрішнього тертя під час руху у в'язкому середовищі або пружному середовищі (рис. 7.9, б) за умови перетікання рідини або газу через малий отвір з однієї порожнини в іншу (рис. 7.10).

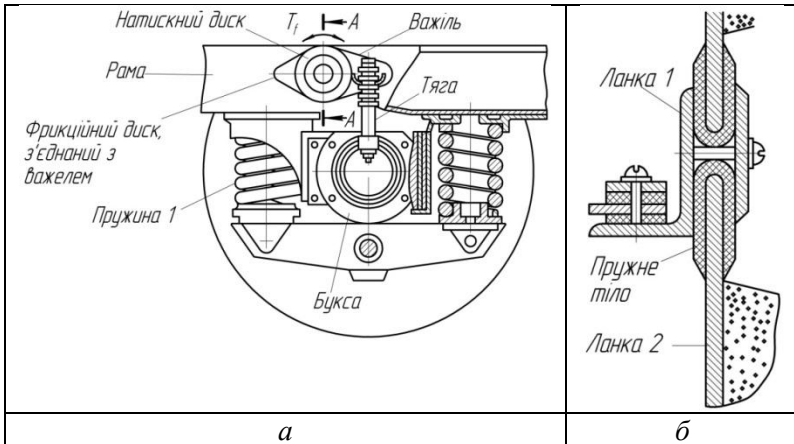


Рис. 7.9. Схеми демпферів

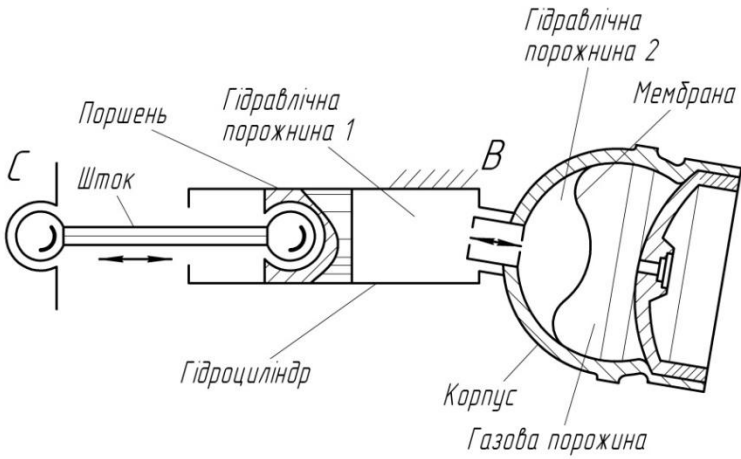
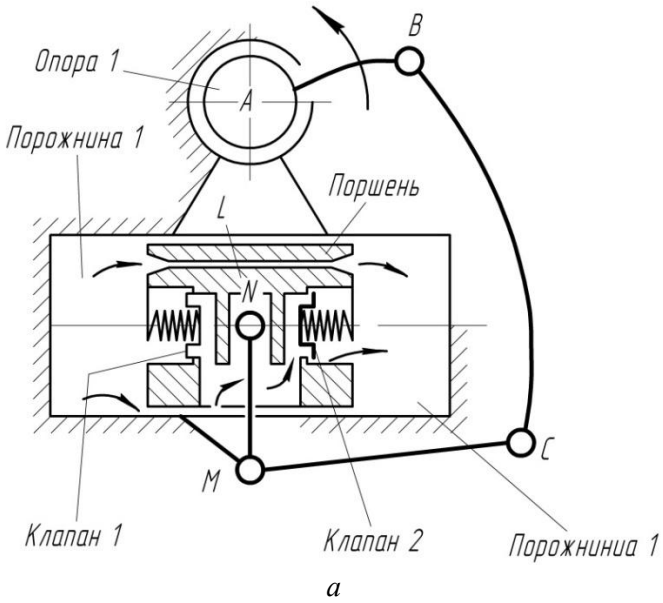


Рис. 7.10. Гидравлические демпферы

На рис. 7.9, *а* подано схему демпфера підвіски залізнодорожного вагона. Фрикційний диск демпфера нерухомо з'єднаний з важелем, який у свою чергу за допомогою тяги з'єднано з буксою. Між буксою і рамою встановлені пружини 1. Коливання букси передаються диску. Розсіяння енергії відбувається при відносних обертових коливаннях фрикційних дисків.

На схемі 7.9, *б* демпфер вбудовано у динамічний віброгасій обертових коливань. Обод розміщується у кільцевій порожнині маховика, яка заповнюється в'язким середовищем, яке виконує роль демпфера.

На рис. 7.9, *в* подано схему віброізолюючого устаткування, яке виконане у вигляді пружних прокладок, що затиснені між ланками 1 і 2. Демпфування відбувається за рахунок внутрішнього тертя у матеріалах прокладок. Вибір конструкційних матеріалів з урахуванням їхніх демпфуючих властивостей – один із найбільш ефективних шляхів удосконалення машин.

На схемі рис. 7.10, *а* подано схему гідравлічного демпфера, який призначено для демпфування обертових коливань. Рідина з однієї порожнини (наприклад I) перетікає в іншу порожнину (II) через отвір *L*. За умови значних навантажень на поршень рідина через зазори і клапан 2 проходить у порожнину II. Клапан I при цьому закритий. Завдяки гідравлічному опору відбувається розсіювання енергії коливань. Гідравлічні демпфери з таким принципом дії, встановлені паралельно або послідовно широко застосовуються у транспортних машинах (гусеничних машинах, авто).

На рис. 7.10, *б* подано схему пружної пневмогідравлічної опори підвіски гусеничної машини. Вона розміщена між відносно рухомими точками В і С. За умови силового впливу вздовж штоку рідина перетікає по каналам клапану з порожнини 1 у порожнину 2. Пневматична подушка (газова порожнина) пом'якшує удари, а переміщення рідини приводить до демпфування вібрацій.

Питання для самоперевірки та повторення

1. Назвіть причини виникнення коливань у механізмах машин.
2. У чому полягає зрівноваження?
3. Що таке балансування?
4. У чому сутність автобалансування?
5. На які групи поділяють автобалансиючі устаткування?
6. Яким чином досягають пом'якшення удару в механізмах?
7. Які способи використовують для забезпечення віброзахисту?
8. У чому полягає активний віброзахист?
9. У чому полягає пасивний віброзахист?
10. Чим характеризується процес демпфування вібрації?
11. Принцип функціонування демпферів.

Тестові питання

1. Оберіть вірний перелік виникнення коливань:
 - похибки геометричної форми та шорсткість; змінні деформації; незрівноваженість відцентрових сил; періодичний реверс; нестабільний характер тертя та мащення поверхонь тертя
 - похибки геометричної форми та шорсткість; похибки кріплення деталей; низький коефіцієнт уніфікації деталей у вузлах; велика маса конструкції
 - низький коефіцієнт уніфікації деталей у вузлах; нестабільний характер тертя та мащення поверхонь тертя;
 - циклічний характер тертя та мащення поверхонь тертя; періодична зміна дотичних напружень; комплексний вплив сил; похибки геометричної форми та шорсткість;
 - змінні деформації; не зрівноваженість відцентрових сил; періодичний реверс; низький коефіцієнт уніфікації деталей у вузлах
2. Зрівноваження дозволяє (оберіть вірне закінчення виразу)

- зменшити або навіть усунути вібрації, підвищити потужність приводу та ККД

- зменшити або навіть усунути злами, знос

- зменшити крутний момент валу приводу, підвищити потужність

- зменшити напруження на валах приводу; зменшити відцентрові сили

- зменшити габарити приводу

3. Яка мета зрівноваження сил інерції?

- зменшення зовнішньої віброактивності механізмів

- зменшення внутрішньої віброактивності механізмів

- зменшення дотичних напружень

- зменшення нормальних напружень

- зменшення контактних напружень

4. Що таке авто балансування?

- автоматичне компенсування зміни дисбалансів ротора в умовах експлуатації

- комплексне усунення коливань

- компенсування зміни дисбалансів ротора на стадії проектування

- компенсування зміни дисбалансів ротора на стадії конструювання

- зменшення нерівномірності руху

5. Чим обумовлюється нерівномірність ходу машин ?

- зміною сил, мас, жорсткості за цикл усталеного руху

- зміною сил тертя, сил інерції за цикл усталеного руху

- зміною напружень на ведучих валах

- зміною напружень, мас, жорсткості за цикл усталеного руху

- зміною сил, ваги, жорсткості за цикл усталеного руху

6. Вирішення задачі пом'якшення удару у механізмах машин приводить до...(оберіть вірне закінчення)

- підвищення терміну роботоздатності

- зменшення габаритів механізмів

- підвищення стійкості

- підвищення жорсткості

- підвищення вібростійкості

7. Від яких факторів залежить величина удару контактуючих тіл?

- маси тіл, які дотикаються, їхньої швидкості, напрямку їхньої взаємодії

- форми тіл, які дотикаються, їхньої швидкості, напрямку їхньої взаємодії

- габаритів тіл, які дотикаються, прискорення тіл, їхньої маси

- форми тіл, які дотикаються, їхнього прискорення, напрямку їхньої взаємодії

- жорсткості тіл, які дотикаються, їхньої швидкості, матеріалу

8. Оберіть вірний спосіб пом'якшення удару

- забезпечити плавне вирівнювання швидкостей руху спряжених ланок з моменту дотику до зупинки

- забезпечити плавне вирівнювання швидкостей руху спряжених ланок в момент зупинки

- забезпечити вирівнювання сил руху спряжених ланок з моменту дотику до зупинки

- забезпечити плавну зміну напружень у спряжених ланках

- забезпечити мінімальну зміну відцентрових сил

9. Плавне збільшення тиску у парі тертя фрикційного гальма або фрикційної муфти приводить до...(оберіть вірне закінчення)

- пом'якшення удару

- зменшення коливань

- зменшення напружень в елементах гальм

- збільшення зносостійкості

- зменшення теплостійкості

10. Збільшити час дотику деталей за рахунок введення пружного елемента або пари тертя приводить до...(оберіть вірне закінчення)

- пом'якшення удару

- зменшення коливань

- зменшення напружень в елементах гальм

- збільшення зносостійкості

- зменшення теплостійкості

ТЕМА 8. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ

План викладу матеріалу

8.1. Силові схеми

8.2. Компактність конструкцій

8.3. Рівнонавантаженість опор

8.4. Комбінування

8.1. Силові схеми

Досконалість конструкцій, їхня маса, габарити залежать від раціональності силових схем, які входять до їхнього складу. Раціональною вважають схему, у якій діючі сили взаємно зрівноважуються за допомогою елементів, які переважно працюють на розтяг, стиск або кручення.

На рис. 8.1, *a* подано схему транспортеру шнекового, який приводиться в рух від електродвигуна через червячний редуктор 1, ланцюгову передачу 2. Корпус транспортеру виконаний з листової сталі і встановлений на трубчастих ніжках. Помилка полягає в тому, що корпус навантажений силою привода F , яка згинає та деформує нежорсткий корпус, встановлений на опорах. Внаслідок малої величини зазорів між витками шнеку та стінками корпусу, витки під час деформування корпусу чіпляються за стінки.

Тертя приводить до зростання приводного крутного моменту, що, у свою чергу, приводить до зростання згинальної сили та тертя. Все це є причиною заклинювання шнеку в корпусі.

Дефект частково усувається за рахунок зміни напрямку обертання шнеку. При цьому ведучою стає нижня вітка ланцюгової передачі та момент, який згинає корпус, дещо зменшується. Усунути вплив зовнішніх сил в системі за рахунок зміни напрямку обертання не можливо. З цією метою привод у рух шнеку здійснюють фланцевим електродвигуном через співвісний редуктор 3, який встановлено на торці корпусу. Крутний момент привода і реактивний крутний момент на

корпусі взаємно гасяться у вузлі кріплення редуктора. Корпус і опора не підлягають дії сил привода (рис. 8.1, б). Опора в даному випадку навантажена лише масою транспортеру та повинна мати високу жорсткість.

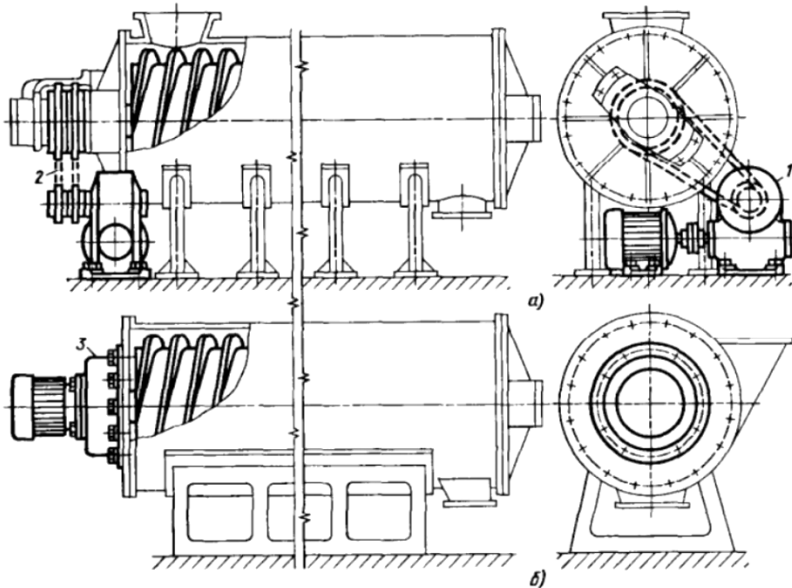


Рис. 8.1. Силова схема транспортеру шнекового

Привод підвісного конвеєра (рис. 8.2, а) складається з редуктора 1, конічної передачі 2 і циліндричних зубчастих коліс 3, які передають обертання приводній зірочці 4 ланцюгової передачі. Наведена силова схема нераціональна. Опорні вузли передачі, кріпильні болти і фундаменти навантажені силами привоу; значна частина елементів конструкції працює на згин. Вузли привоу роз'єднані, встановлені на різних основах і не зафіксовані один щодо іншого. Для того щоб домогтися задовільної роботи механізмів, потрібно регулювання взаємного розташування механізмів.

Зубчасті колеса, виконані з чавунних виливок, не захищені від бруду; їх можна змащувати тільки періодичним нанесенням мастила. Габарити установки великі, що

пояснюється роз'єднаністю вузлів, а також застосуванням нетривкого матеріалу (чавуну) для виготовлення найбільш відповідальних деталей (зубчастих коліс). Конструкція характерна для старих прийомів конструювання.

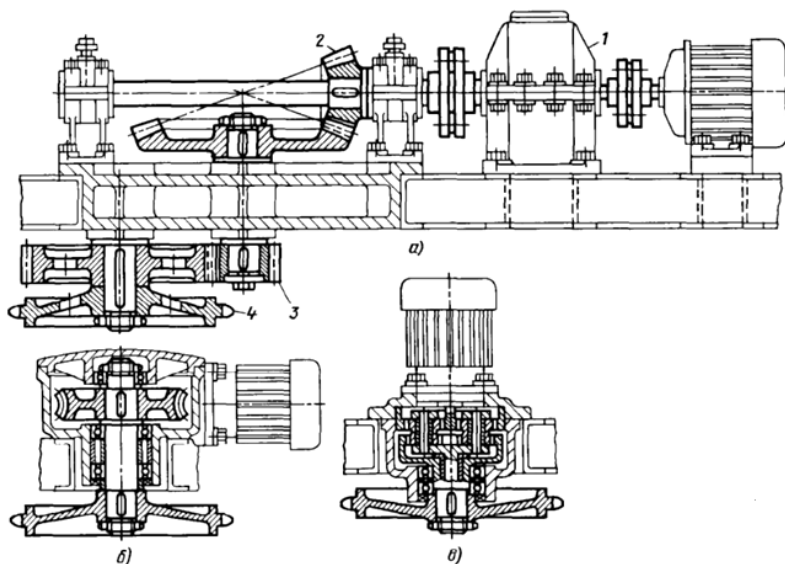


Рис. 8.2. Схема привода конвеєра

В агрегованих конструкціях мотор-редуктора привод здійснюється від фланцевого електродвигуна через черв'ячний (б) або планетарний (в) редуктори. Кутова передача усунена. Габарити установки різко скорочуються. Сили приводу погашаються в корпусі редуктора, який навантажений лише коловою силою на приводній зірочці. Введення централізованого рідкого мастила збільшує довговічність передачі. В цілому маємо суттєву перевагу в габаритах і масі установки, простоті виготовлення, зручності монтажу та обслуговування, витраті енергії і надійності.

8.2. Компактність конструкцій

Одним з ознак раціональної конструкції є компактність. Доцільні габарити забезпечують зменшення розмірів, маси і металоемності. Зменшення осьових розмірів можна іноді досягти рознесенням конструкції в радіальному напрямку. У вузлі торцевого ущільнення (рис. 8.3, 1), втулка m якого притискається пружиною до ущільнюючого диску n , розташування пружини зовні втулки (конструкція 2) робить вузол більш компактним без порушення параметрів, що визначають його працездатність.

У шліцьових, зубчастих, пресових, конусних та інших з'єднаннях, несуча здатність яких пропорційна квадрату діаметра, та при однаковій навантаженості довжина з'єднання підпорядковується співвідношенню $l_1 / l_2 = (D_2 / D_1)^2$; значного скорочення осьових розмірів можна досягти порівняно малим збільшенням діаметра (конструкції 3, 4 і 5, 6).

Для розміщення конструктивних елементів слід використовувати вільні порожнини. У компенсуючій шліцьовій муфті 7 із заданою довжиною L проміжної втулки можна скоротити габарити шляхом часткового (конструкція 8) або повного (конструкція 9) введення маточин приводних дисків в порожнину втулки. При розмірах, показаних на рисунку, довжина з'єднань скорочується в співвідношенні: $L_1: L_2: L_3 = 1: 0,8: 0,6$.

У вузлі установки зубчастого колеса 10 скорочення довжини досягається розташуванням маточини підшипника під вінцем колеса (конструкція 11). Конструкцію кулькового під'ятника 12 можна зробити компактною за рахунок розташування його в порожнині валу (конструкція 13).

Розміри шарнірного з'єднання трубопроводів 14 скорочені шляхом заміни однієї з зовнішніх сферичних поверхонь внутрішньою (конструкція 15). У вузлі 16 кінцевого встановлення валу, навантаженого радіальною і осьовою силою змінного напрямку, осьове навантаження сприймають два однорядних упорних підшипника. Конструкція громіздка.

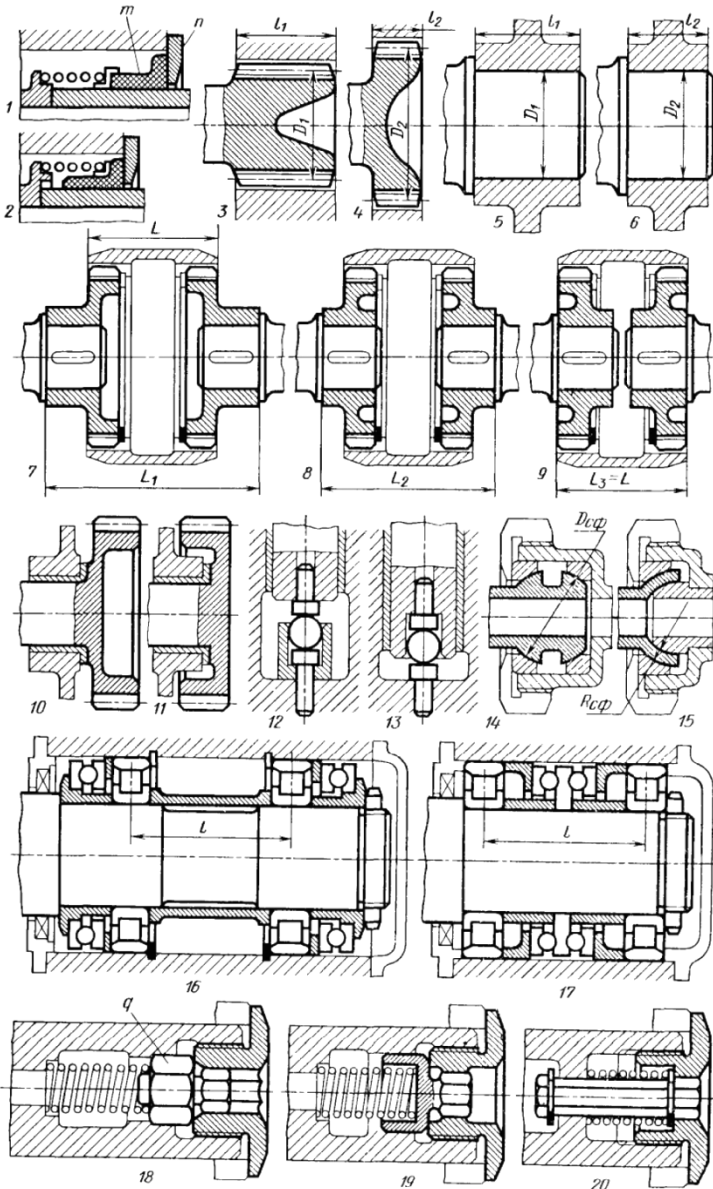


Рис. 8.3. Схеми можливих зменшень габаритних розмірів

Фіксація вала в поздовжньому напрямку неточна: упорні підшипники, розташовані на значній відстані один від іншого, повинні бути встановлені з осьовим зазором, що компенсує теплові деформації системи.

У конструкції 17 осьове навантаження сприймає дворядний упорний підшипник, розташований між радіальними опорами. При тій же відстані l між опорами розміри вузла скорочені приблизно в 1,5 рази. Осьовий люфт стає мінімальним. При збереженні тих же розмірів, що й в конструкції 16, можна збільшити рознесення радіальних опор в 1,5 рази зі збільшенням стійкості вала.

У вихідній конструкції 18 гайка зафіксована підпружиненим стопором q з двома шестигранниками, з яких більший ковзає в шестигранному отворі вала, а менший входить в шестигранний отвір гайки. Осьові розміри вузла невиправдано великі.

У конструкції 19 осьові розміри зменшені шляхом розміщення пружини в шестиграннику стопора. Довжина внутрішнього шестигранника гайки скорочена, що виключає можливість відкручування гайки без попереднього звільнення стопора.

У найбільш раціональній конструкції 20 стопор виконаний з шестигранного прутка. Шестигранні отвори в валі і гайці обробляються однією протяжкою (в попередніх конструкціях потрібні дві). Завдяки встановленню пружини зовні стопора осьові розміри вузла скорочені в 1,5 рази в порівнянні з вихідною конструкцією. Стопор зафіксований в осьовому напрямку пружинним кільцем і не випадає з отвору після відкручування гайки. Відвернути гайку можна лише після звільнення стопора.

На рис. 8.4, *a* показано вузол кінчної передачі зі звичайною консольною установкою зубчастого колеса. У конструкції (*б*) застосована двухопорна установка. Один кінець вала ведучого колеса встановлений в стінці корпусу, інший – в кришці 1 з вікном на ділянці зачеплення зубів. Габарити передачі істотно скорочені, стійкість коліс зростає.

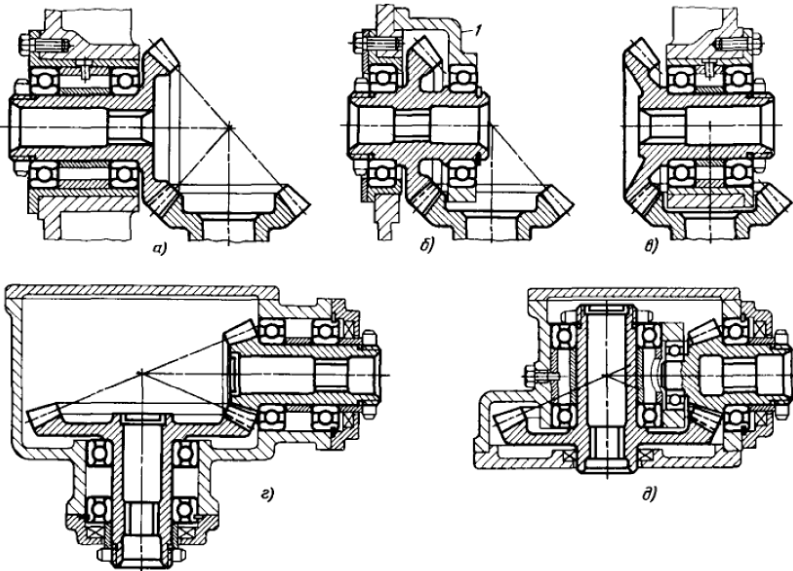


Рис. 8.4. Приклади зменшення габаритних розмірів кінчних передач

За умови перенесення зубчастого колеса на інший бік веденого вала (конструкція *в*) осьові розміри передачі скорочуються майже в 2 рази в порівнянні з вихідною конструкцією.

Редуктор з кінчною передачею звичайної схеми (*г*) відрізняється великими розмірами. Об'єм корпусу раціонально використаний в конструкції *д*, де підшипники кінчного колеса і один з підшипників шестерні встановлені в приливі всередині.

На рис. 8.5 наведені приклади скорочення осьових розмірів зубчастої передачі. У вихідній конструкції (*а*) кінцеве колесо 1 встановлено консольно в діафрагмі 2. Привідне колесо 3 спирається на двох підшипниках, один з яких встановлений в кришці 4, а інший – у виточці тіла кінцевого колеса, консольно по відношенню до основних підшипників. Вал проміжних зубчастих коліс спирається з одного боку на діафрагму 2, з іншого – на кришку 4.

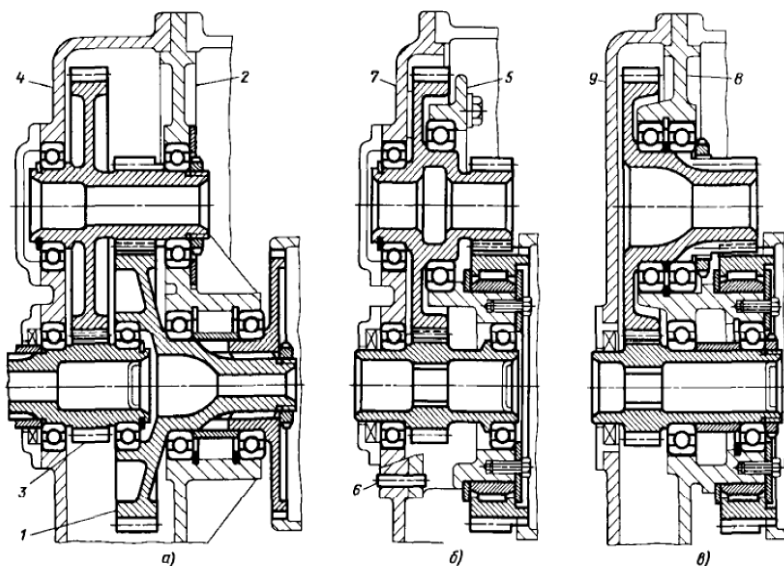


Рис. 8.5. Приклади зменшення габаритних розмірів зубчастої передачі

Осьові габаритні розміри конструкції невиправдано великі. Опори ведучого і проміжних валів розташовані в різних деталях. Опорні поверхні вала ведучого колеса неможливо обробити одночасно, що обумовлює підвищені вимоги до співвісності посадочних поверхонь вала кінцевого колеса. Це ускладнює процес збирання передачі. За умови з'єднання діафрагми з кришкою кінці валів ведучого і проміжного коліс, зафіксовані попередньо кожен в одній опорі, повисають; кінці валів доводиться «наосліп» вводити в опори. З метою покращення конструкції (рис. 8.5, б) опори валів розташовані в фігурній діафрагмі 5, яка встановлена на кришці 7 і зафіксована контрольними штифтами 6. Всі посадочні поверхні можна обробити з однієї установки. Редуктор можна зібрати і перевірити, як окремий вузол. Осьові розміри скорочені в 1,6 рази в порівнянні з вихідною конструкцією за рахунок наступних заходів:

- вінець приводних шліців кінцевого колеса (виконаний в попередній конструкції на окремій насадній деталі)

виготовлений як одне ціле з кінцевим колесом у вигляді продовження зубів;

- кінцеве колесо змонтовано на гольчастому підшипнику, встановленому на циліндричному виступі діафрагми;

- зовнішні шліци вхідного вала замінені внутрішніми.

У конструкції на рис. 8.5, *в* передача змонтована на одній деталі – діафрагмі 8. Виготовлення та збирання даної передачі спрощуються.

Розміри і масу конструкції в деяких випадках можна зменшити суміщенням декількох функцій в одній деталі.

При парній установці радіально-упорних підшипників, призначених для сприйняття осьового навантаження в двох напрямках (рис. 8.6, *а*), навантаження сприймає будь-який з них, а інший в цей час не діє. В однорядному підшипнику двосторонньої дії (рис. 8.6, *б*) кульки укладені в обойми з глибокими канавками; зовнішня обойма для зручності складання зроблена розємною. Під навантаженням кульки притискаються до одного боку канавки і відходять від протилежного. При зміні напрямку навантаження відбувається зворотне явище. Такі підшипники при однаковому навантаженні мають удвічі менші осьові розміри, ніж спарені підшипники. На рис. 8.6, *в* подано схему, де зовнішні кільця заключені у спільну обойму.

Аналогічний приклад кулькової гвинтової пари (конструкція, часто застосовується в силових передачах). У конструкції (рис. 8.6, *з*) кульки встановлені по спіралі в два ряди; осьове навантаження сприймає тільки половина загальної кількості кульок. При установці в кожній спіралі по одному ряду кульок (рис. 8.6, *д*) осьове навантаження при будь-якому його напрямку несуть всі кульки, в результаті чого навантажувальна здатність передачі збільшується вдвічі.

У вузлі з'єднання шатунної шийки роз'ємного колінчастого валу з'єднання стягнуто болтом (рис. 8.6, *е*). У більш раціональній конструкції (рис. 8.6, *ж*) для стяжки використаний хвостовик лівої половини шийки.

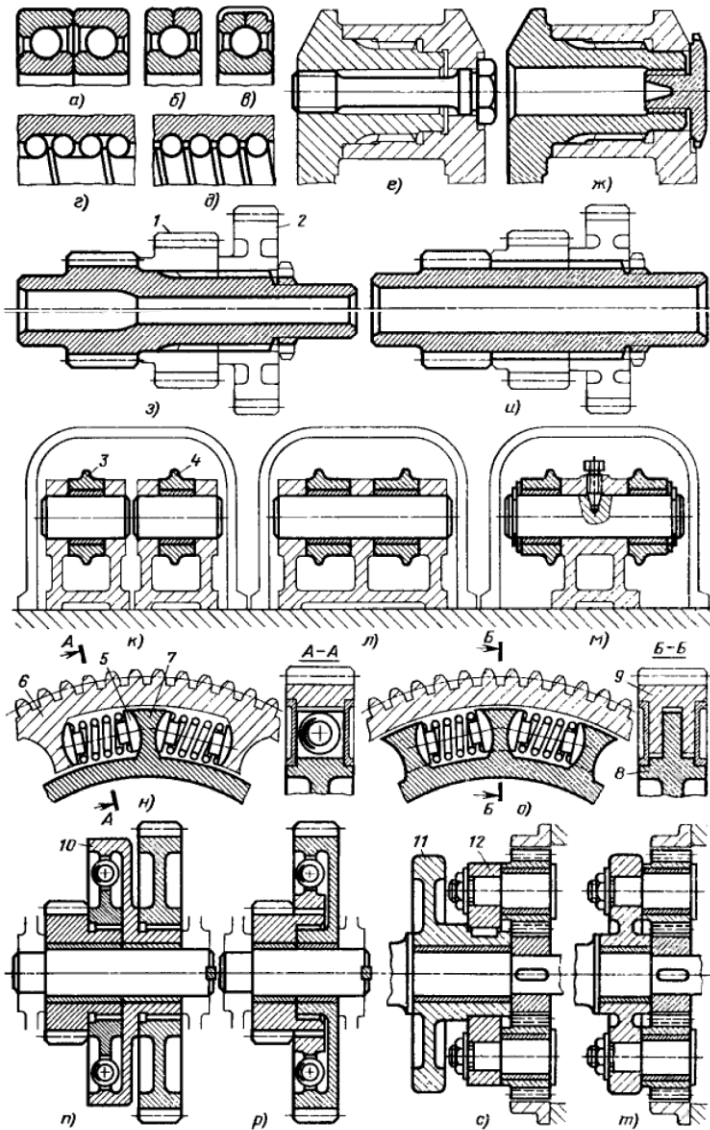


Рис. 8.6. Приклади суміщення конструктивних функцій

У блоці зубчастих коліс (рис. 8.6, з) насадні зубчасті колеса 1, 2 встановлені на шліцах вала-шестерні. В конструкції (рис. 8.6, и) колеса встановлені на продовженні зуба вала-шестерні, внаслідок чого підвищується міцність вала, збільшується діаметр правої шийки і спрощується обробка.

У вузлі приводу клапанного механізму (рис. 8.6, к) коромисла 3, 4 встановлені на окремих осях, кожне в своєму корпусі. Конструкція спрощується, якщо коромисла змонтувати в одному корпусі на трьохопорній або консольній осі (рис. 8.6, л і м).

У вузлі пружного встановлення обода зубчастого колеса на маточині (рис. 8.6, н) змінний крутний момент передається на зубчастий вінець через ряд пружин, встановлених (щоб уникнути перекосу) на циліндричних шарнірних сухарях 5, опертих в гніздах виступів обода 6 і маточини 7. Половина пружин використовується для передачі крутного моменту, а друга половина пружин - для амортизації навантаження при циклічних спадах крутного моменту.

В удосконаленій конструкції (рис. 8.6, о) виступи обода і маточини суміщено; виступи 8 маточини введені в прорізи виступів 9 обода. Завдяки цьому всі пружини амортизують коливання крутного моменту. Вузол може передавати удвічі більший крутний момент або забезпечувати вдвічі більшу піддатливість при амортизації.

На рис. 8.6, п зубчасті колеса встановлені з проміжною пружинною муфтою 10. У конструкції (рис. 8.6, р) амортизуючі пружини розміщені у великому колесі приводу. В наслідок конструктивних змін зменшено масу і осьові габарити, збільшена жорсткість вузла.

У вузлі планетарного приводу кулачкової шайби 11 (рис. 8.6, с) сателіти встановлені на окремій деталі 12. Для покращення конструкції (рис. 8.6, т) сателіти змонтовані безпосередньо на шайбі. Це дає можливість полегшити конструкцію, зробити її компактною.

8.3. Рівнонавантаженість опор

Конструювання вузлів з підшипниками кочення необхідно проводити таким чином, щоб забезпечити рівну довговічність підшипників.

У зубчастій передачі (рис. 8.7, *a*) навантаження P_1 на шестерню від сил приводу більше навантаження P_2 на колесо у співвідношенні $D_2 / D_1 \approx 3$. На рис. 8.7, *a* схематично зображено розташування опор, при якому лівий підшипник навантажений силою N_1 , яка в 2 рази перевищує силу N_2 , яка діє на правий підшипник. З метою забезпечення рівної довговічності опор на правому кінці валу встановлено малий підшипник (рис. 8.7, *б*) з навантаженістю в 2 рази меншою, ніж у лівого підшипника.

Слід зауважити, що при цьому порушено вимоги до уніфікації вузлів машини. Тому, більш доцільною є конструкція, подана на рис. 8.7, *в*, яка передбачає встановлення однакових підшипників і зміну розташування опор.

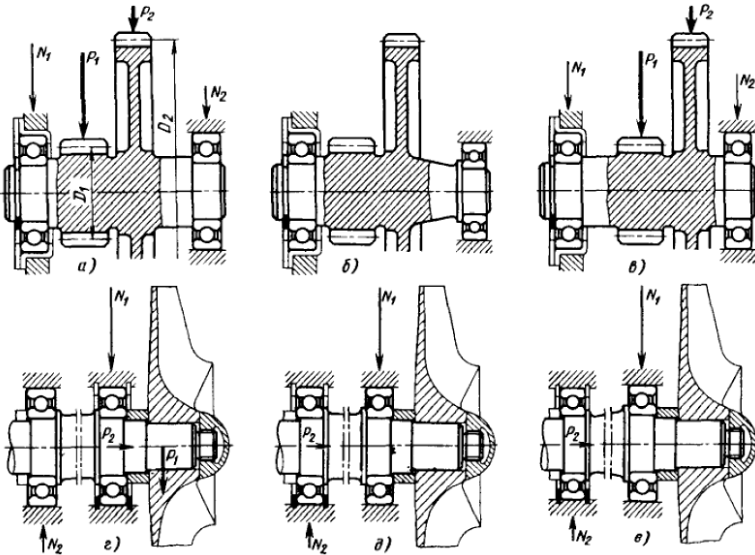


Рис. 8.7. Схеми опор підшипників

8.4. Бомбінування

Поверхні, що працюють під навантаженням в умовах лінійного або площинного контакту, доцільно виконувати злегка опуклими, що забезпечує центральне прикладання навантаження і усуває підвищений кромковий тиск, який виникає через неточності виготовлення і монтажу. Цей прийом називають бомбінуванням і широко застосовують для деталей, які працюють під високим навантаженням в умовах кочення або ковзання.

Потрібний ступінь опуклості визначають за пружною деформацією поверхні під навантаженням з урахуванням можливих в системі перекосів. Зазвичай стріла опуклості становить кілька сотих міліметра.

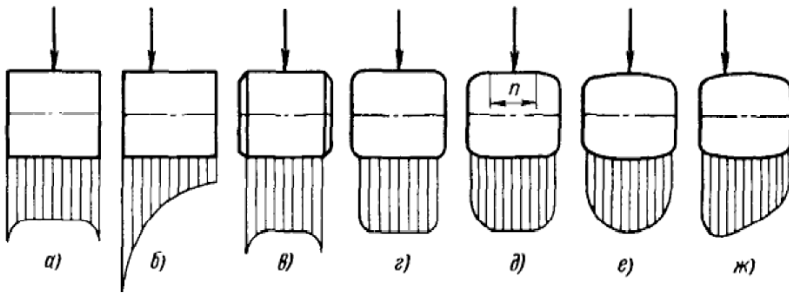


Рис. 8.8. Схеми вирівнювання навантажень по довжині роликів

На рис. 8.8 показано застосування цього принципу для ролика підшипника кочення. У ролика з гострими кінцями (рис. 8.8. *а*) виникають підвищені кромочні тиски, особливо при перекосі і відцентровому прикладанні навантаження (рис. 8.8. *б*).

Зняття фасок на торцях (рис. 8.8, *в*) не виправляє положення; різниця полягає в тому, що крайове навантаження припадає на тупий, а не на гострий кут кромки. Введення галтелей (рис. 8.8, *г*) знижує кромочні тиски. При відцентровому прикладанні навантаження виникає значний тиск, хоча і менший, ніж в попередніх випадках.

У частково бомбінірованого ролика з циліндричним профілем на ділянці n і плавно заокругленими торцями (рис. 8.8, *д*) епіюра тисків має ще більш пологий характер. Конструкція бомбінірованого ролика (рис. 8.8, *е*) забезпечує найбільш сприятливий розподіл навантаження при перекосах (рис. 8.8, *ж*).

На рис. 8.9 наведено геометричну модель фрагменту підшипника [27], створена у програмному комплексі Компакс – 3DV 13, який реалізує інженерні графічні побудови.

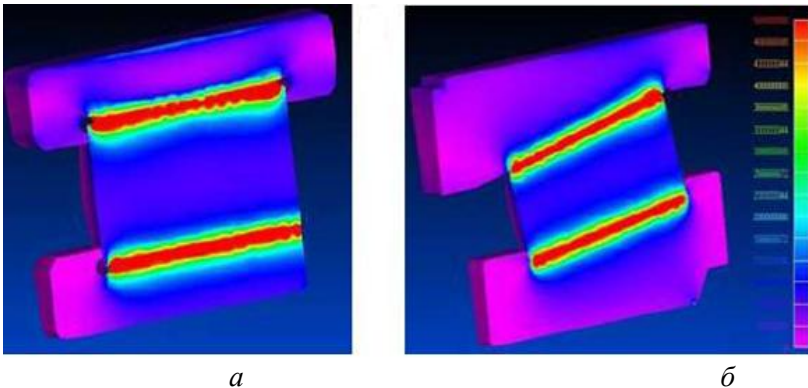


Рис. 8.9. Розподіл інтенсивностей напружень в елементах підшипника за його осьовим перерізом: *а* – для підшипника з циліндричним бомбінірованим роликом; *б* – для конічного підшипника з прямолінійною твірною ролика

З рис. 8.9 видно, що у випадку конічних підшипників інтенсивність напружень під час навантаження підшипника розрахунковим навантаженням, розподілена вздовж прямолінійної твірної ролика (по поверхні контакту ролика та кільця) більш рівномірно, ніж у випадку бомбінірування роликів підшипників даного типу. У випадку циліндричних підшипників бомбінірування їхніх роликів дозволяє зменшити максимальні значення інтенсивності напружень (згідно експериментальних даних [27]), які виникають на краю циліндричного ролика, до центру приблизно в 1,4 рази. Таким чином, бомбінірування роликів дозволяє підвищити ресурс роботи циліндричного підшипника за умови його навантаження.

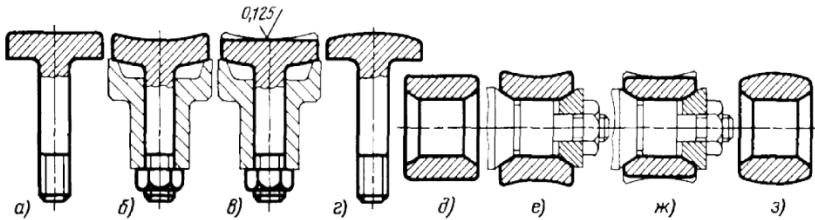


Рис. 8.10. Схеми технологічних способів бомбірування

За умови бомбірування плоских і циліндричних поверхнь, щоб уникнути складної профільної обробки, застосовують метод попередньої пружної деформації деталі. На рис. 8.10, *а-г* показано застосування цього способу для надання слабосферичної форми робочій поверхні тарілки штовхача. При чистовій обробці стрижень штовхача затягують в циліндричній оправці, в результаті чого тарілка прогинається, приймаючи форму, показану в збільшеному вигляді на рис. 8.10, *б*. Після цього робочу поверхню шліфують по площині. Після зняття оправки тарілка розпрямляється, приймаючи злегка опуклу сферичну форму (рис. 8.10, *г*). Ступінь опуклості регулюють силою затягування штовхача в оправці. На рис. 8.10, *д-з* показаний аналогічний прийом бомбірування ролика.

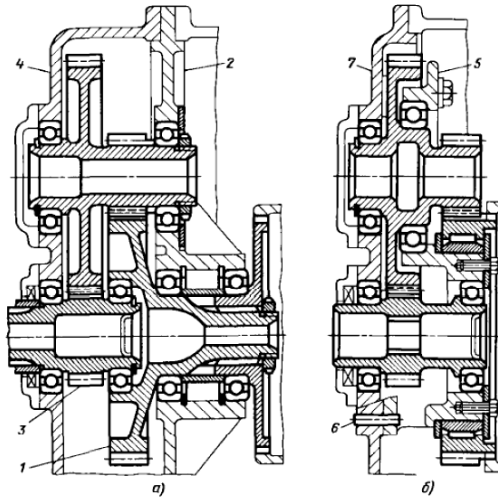
Питання для самоперевірки та повторення

1. Від чого залежить досконалість конструкцій вузлів машин?
2. Назвіть ознаки раціональності конструкції
3. Яким чином необхідно проводити конструювання вузлів з підшипниками кочення, щоб забезпечити рівну довговічність підшипників?
4. У чому суть бомбірування?
5. Як потрібно виконувати поверхні, що працюють під навантаженням в умовах лінійного або площинного контакту?
6. Як забезпечити центральне прикладання навантаження і усунути підвищений кромковий тиск, який виникає через неточності виготовлення і монтажу підшипників?

7. Як визначають потрібний ступінь опуклості деталей?
8. Як можна зменшити максимальні значення інтенсивності напружень для підшипників?
9. Як підвищити ресурс роботи циліндричного підшипника за умови його навантаження?
10. Який метод, застосовують за умови бомбінювання плоских і циліндричних поверхонь, щоб уникнути складної профільної обробки?

Тестові питання

1. Оберіть ознаку раціональної конструкції вузлів машин
 - компактність
 - форма
 - собівартість
 - уніфікація
 - розташування в просторі
2. У шліцьових, зубчастих, пресових, конусних та інших з'єднаннях, несуча здатність яких пропорційна квадрату діаметра, та при однаковій навантаженості довжина з'єднання підпорядковується співвідношенню... (оберіть вірний вираз)
 - $l_1 / l_2 = (D_2 / D_1)^2$
 - $l_2 / l_1 = (D_2 / D_1)^2$
 - $(l_1 / l_2)^2 = (D_2 / D_1)^2$
 - $(l_1 / l_2)^2 = (D_2 / D_1)$
 - $l_1 / l_2 = D_2 / D_1$
3. Конструювання вузлів з підшипниками кочення необхідно проводити таким чином, щоб забезпечити ... (оберіть вірне закінчення)
 - рівну довговічність підшипників
 - однакові осьові навантаження на підшипники
 - однакові радіальні навантаження на підшипники
 - рівні значення контактних напружень
 - рівні значення нормальних напружень
4. За рахунок яких заходів скорочені осьові розміри (схема б) в порівнянні з вихідною конструкцією (схема а)?



- опори валів розташовані в фігурній діафрагмі, яка встановлена на кришці і зафіксована контрольними штифтами

- вінець приводних шліців кінцевого колеса (виконаний в попередній конструкції на окремій насадній деталі) виготовлений як одне ціле з кінцевим колесом у вигляді продовження зубів

- опори валів розташовані на кришці і зафіксовані контрольними штифтами

- передача змонтована на одній деталі – діафрагмі

- суміщенням декількох функцій в одній деталі

5. Як слід виконувати поверхні, що працюють під навантаженням в умовах лінійного або площинного контакту?

- злегка опуклими

- злегка вгнутими

- максимально вгнутими

- максимально опуклими

- прямолінійними

6. Яким способом можна забезпечити центральне прикладання навантаження і усунути підвищений кромковий тиск у підшипниках?

- бомбіруванням

- наклепом

- рознесенням опор
- наближенням опор
- збільшенням ширини кільця

7. За яким фактором визначають потрібний ступінь опуклості при бомбінуванні?

- за пружною деформацією поверхні під навантаженням з урахуванням можливих в системі перекосів
- за пружною деформацією поверхні без навантаження з урахуванням можливих в системі перекосів
- за пружною деформацією поверхні під навантаженням з урахуванням можливих в системі напружень
- за показниками міцності матеріалу деталей
- за межею текучості матеріалу деталі

8. У скільки разів дозволяє зменшити максимальні значення інтенсивності напружень бомбінування роликів циліндричних підшипників?

- в 1,4 рази
- в 2,0 рази
- в 2,5 рази
- в 1,2 рази
- інтенсивність напружень навпаки зростає

9. Застосування якого способу дозволяє підвищити ресурс роботи циліндричного підшипника за умови його навантаження?

- бомбінування
- азотування
- цементация
- загартування
- наклеп

10. Який метод застосовують за умови бомбінування плоских і циліндричних поверхонь, щоб уникнути складної профільної обробки?

- попередньої пружної деформації деталі
- максимально можливого деформування деталей
- зменшення концентраторів напружень
- термічної обробки деталей
- хіміко-термічної обробки деталей

ТЕМА 9. КОНСТРУЮВАННЯ АГРЕГАТІВ

План викладу матеріалу

9.1. Поняття агрегату. Конструювання силового агрегату машин

9.2. Конструювання бортових передач

9.1. Поняття агрегату

Конструювання силового агрегату машин

Агрегат – це з'єднання вузлів і деталей у закінчений механізм, який виконує певну функцію. У машинобудуванні використовують наступні агрегати: двигун, шасі, кузов, раму, редуктор, насос, тощо. Нижче розглянемо силовий агрегат.

Силовий агрегат, що складається з двигуна і обслуговуючих його агрегатів, призначений для отримання механічної потужності, необхідної для подолання зовнішніх сил опору руху машини. На самохідних технологічних машинах застосовують двигуни внутрішнього згоряння, позитивними рисами яких є: автономність, економічність і висока питома потужність. Ці якості двигунів внутрішнього згоряння, незважаючи на не цілком вдалу швидкісну характеристику, ставлять їх поза конкуренцією порівняно з двигунами інших типів. Двигун внутрішнього згоряння перетворює теплову енергію палива, що згорає в механічну енергію обертання колінчастого вала. Далі ця енергія передається через трансмісію на провідні колеса і гусеничні рушії машини.

Так як у будівельних, дорожніх машинах, в силу ряду переваг, отримали майже виняткове поширення двигуни з запалюванням від стиснення (дизелі), подальший матеріал відноситься саме до цього типу двигунів внутрішнього згоряння.

Обслуговуючі двигун агрегати входять в системи, що забезпечують паливом і повітрям, охолодження, змащення, підігріві запуск двигуна. Експлуатаційно-технічні характеристики і якість цих систем визначають надійність, економічність і ефективність роботи двигуна при різних режимах і умовах експлуатації машини. Відповідно до цього

обслуговуючі двигун системи і агрегати в будь-яких дорожніх і кліматичних умовах повинні забезпечувати:

- отримання від двигуна максимальної потужності;
- економічність двигуна;
- підтримання необхідного теплового режиму роботи;
- надійне і ефективне мащення;
- надійну і ефективну очистку повітря, що надходить у двигун;
- швидкий підігрів і запуск;
- зручність експлуатації і технічного обслуговування.

На рис. 9.1 представлений приблизний вигляд загального енергетичного балансу сучасного двигуна гусеничної машини, що працює при повній подачі палива. Із загальної кількості тепла Q_T , що виділяється при згорянні палива, близько двох третин відводиться охолоджувальною рідиною (Q_{oc}), маслом (Q_m), відпрацьованими газами (Q_e) і розсіюється в навколишній простір (Q_p) корпусом двигуна і іншими агрегатами та деталями моторної установки. І лише одна третина (Q_e) перетворюється в ефективну механічну роботу обертання колінчастого вала. Під час роботи двигуна на часткових характеристиках відносна величина теплових, а також механічних втрат в двигуні значно зростає.

Високі динамічні якості машини (великі прискорення під час розгону, можливість подолання складних перепонів, швидкий поворот з будь-яким радіусом) забезпечуються питомою потужністю:

$$N_{\Pi} = \frac{N_{emax}}{m}, \quad (9.1)$$

де N_{emax} – максимальна ефективна потужність двигуна, кВт;
 m – маса машини, т.

У сучасних будівельних машинах питома потужність досягає 15 кВт/т, що достатньо для отримання потрібних значень тягових характеристик машини. В окремих випадках ця величина буває значно вищою.

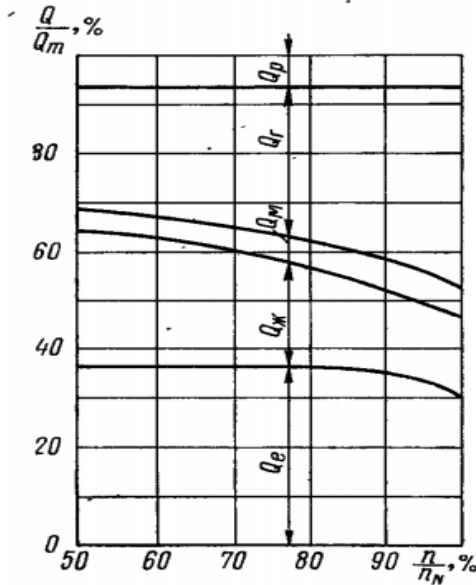


Рис. 9.1. Загальний вид енергетичного балансу двигуна:
 n – біжуча частота обертання двигуна, хв^{-1} ; n_N – частота обертання за умови максимальної потужності

Підвищення потужності сучасних двигунів внутрішнього згоряння може бути досягнуто за рахунок наддуву - збільшення вагового заряду повітря і палива, які надходять в циліндри двигуна. Наддув здійснюється нагнітачами з механічним, газотурбінним або комбінованим приводом від двигуна. Завдяки відносній простоті конструкції, автоматичності регулювання режиму роботи нагнітача і високому ККД найбільш широке застосування в даний час знаходить газотурбінний наддув, здатний забезпечити підвищення потужності двигуна на 25-30% притисках наддуву 150-200 кПа. Подальше підвищення тиску наддуву недоцільно в зв'язку зі значним зростанням витрат потужності в нагнітачі і температури повітря (або суміші), що надходить у двигун. Виняток становлять складні системи наддуву з комбінованим приводом і охолоджувачами, застосовуються на стаціонарних двигунах великої потужності. Економічна робота двигуна гарантує продуктивну витрату

палива і забезпечує самохідній машині необхідний запас ходу. Паливна економічність двигуна оцінюється величиною питомої витрати палива, яка для дизелів становить 220-300 г / (кВт-год), для бензинових двигунів – 280-380 г / (кВт-год). Під запасом ходу розуміють найбільшу відстань в км, яку можна подолати за умови одноразової заправки паливом. Для більшості транспортних машин, перш за все колісних, запас ходу складає 400-500 км.

Складність створення надійної і досконалої моторної установки дорожньої або будівельної машини обумовлена тим, що двигун великої потужності (500-1000 кВт і вище) разом з обслуговуючими його допоміжними системами повинен бути розміщений в обмежених габаритах корпусу. Наявність паливних і масляних агрегатів і магістралей, гарячих поверхонь вихлопних труб вимагає забезпечення пожежної безпеки. Обмеженість місця викликає необхідність суворого обліку габаритів і взаємного розташування окремих агрегатів, повної герметизації систем, надійної вентиляції моторного відділення. Від двигуна, встановленого в машині, до ведучого валу трансмісії підводиться вільна потужність N_d , величина якої на 10-20% нижче ефективної потужності N_e , яка визначається під час випробувань двигуна на гальмівному стенді.

Основними факторами, які впливають на зниження потужності при установці двигуна в машині, є зменшення середнього ефективного тиску в циліндрах двигуна в зв'язку з підвищеним опором під час впуску (повітря очищення) і випуску (глушіння шуму випуску, ежекційні системи) з двигуна, а також витрати механічної потужності на обслуговуючі агрегати. Таким чином

$$N_d = N_e - N_{м.у.} \quad (9.2)$$

де $N_{м.у.}$ – величина витрат потужності, які пов'язані з роботою обслуговуючих двигун агрегатів моторного устаткування визначаються.

Величина $N_{м.у.}$ є одним з основних оціночних показників якості агрегатів моторного устаткування в цілому. Чим менше

$N_{M.y.}$, тим більше вільна потужність двигуна N_D , тим вище тягові та економічні показники машини.

Основним споживачем потужності, яка втрачається у моторному устаткуванні, є вентилятор системи охолодження двигуна. Під час роботи двигуна на оборотах n_N , що відповідають його максимальній потужності N_{Vmax} , вентилятор споживає потужність $N_{Vmax} = (0,06 - 0,15)N_{emax}$. При іншій частоті обертання двигуна приблизно можна рахувати

$$N_V = N_{VN} \left(\frac{n}{n_N} \right)^3, \quad (9.3)$$

де N_V – потужність, яку споживає вентилятор за умови, що оберти двигуна дорівнюють n .

За умови ежекційної системи охолодження втрати потужності $N_{еж}$ пов'язані з роботою ежектора, як правило не перевищують 6% від $N_{еж}$. За умови роботи двигуна у режимі максимальної потужності $N_{ежN} = (0,03 - 0,06)N_{emax}$. У випадку іншої частоти обертання двигуна, який працює з повною подачею палива:

$$N_{еж} = N_{ежN} \left(\frac{n}{n_N} \right)^2. \quad (9.4)$$

Опір у повітроочисниках приводить до зниження потужності двигуна на режимі N_{emax} на величину $N_{в.оN} = (0,02 - 0,04)N_{emax}$. При іншій частоті обертання двигуна, який працює на зовнішній характеристиці

$$N_{в.о.} = N_{в.оN} \left(\frac{n}{n_N} \right)^2. \quad (9.5)$$

Протитиск на випуску з двигуна, який пов'язаний з роботою глушників шуму, також приводить до зменшення потужності двигуна. На режимі N_{emax} , буде $N_{випN} = (0,02 - 0,03)N_{emax}$.

Таким чином, загальні втрати потужності у моторному устаткуванні можна визначати за наступними залежностями:

- за умови застосування вентиляторної системи охолодження

$$N_{\text{м.у.}}^{\text{В}} = N_{\text{в}} + N_{\text{в.о.}} + N_{\text{вип}} ; \quad (9.6)$$

- за умови ежекторної системи охолодження

$$N_{\text{м.у.}}^{\text{В}} = N_{\text{еж}} + N_{\text{в.о.}} + N_{\text{вип}} . \quad (9.7)$$

Для порівняльної оцінки різних конструкцій двигунів користуються поняттям габаритної потужності в кВт/м³

$$N_e = \frac{N_{\text{еmax}}}{BHL}, \quad (9.8)$$

де B, H, L – ширина, висота, довжина двигуна в м;

BHL – габаритний прямокутний об'єм, у який вписується двигун.

Відносним показником оцінки економічності моторного устаткування є ККД

$$\eta_{\text{м.у.}} = \frac{N_e - N_{\text{м.у.}}}{N_e} = \frac{N_{\text{д}}}{N_e} . \quad (9.9)$$

Величина ККД змінюється в широких межах залежно від режиму роботи двигуна. За умови роботи двигуна за зовнішньою характеристикою $\eta_{\text{м.у.}} = 0,8-0,9$.

Взаємне розташування двигуна і агрегатів допоміжних систем в моторному відділенні гусеничних машин відрізняється великою різноманітністю. Основний вплив на компоновання моторного відділення мають розташування двигуна в машині і його зв'язок із трансмісією, тип системи охолодження і розміщення її агрегатів, розміщення паливних і масляних баків. Однак до всіх видів компоновальних рішень моторних устаткувань є загальні вимоги і оцінка їх здійснюється певним переліком показників.

Основними вимогами до компоновання моторного устаткуванняє:

- ізоляція моторного устаткування від інших відділень машини;
- раціональне використання об'єму машини;
- забезпечення ефективної роботи двигуна і обслуговуючих агрегатів;
- зручність доступу до різних агрегатів при обслуговуванні і виконанні ремонтних робіт.

Поздовжнє розташування двигуна застосовується на багатьох машинах, так як при цьому забезпечується найбільш простий зв'язок з трансмісією. Однак у всіх випадках при поздовжньому розташуванні двигуна довжина моторного відділення збільшується, а в трансмісії обов'язково застосовується конічна пара. Поперечне розташування двигуна в цьому відношенні має перевагу: значно скорочується довжина моторного відділення, але зв'язок двигуна з трансмісією ускладнюється.

До рами або корпусу машини двигун кріпиться жорстко або за допомогою гумових подушок. Всі агрегати системи моторного устаткування розташовуються по можливості ближче до двигуна з метою скорочення довжини з'єднувальних трубопроводів і найбільш раціонального використання об'єму моторного відділення. При коротких трубопроводах зменшуються вібрації, що викликають поломки і порушення щільності в місцях з'єднань, зменшується їх опір і підвищується надійність систем, які обслуговують двигун.

Агрегати моторного устаткування, що вимагають періодичного обслуговування або використовуються під час експлуатації машини (паливні і масляні фільтри та насоси, очищувачі повітря, крани і т. д.), повинні розташовуватися в вільно доступних місцях, що при щільному компонованні моторного відділення є доволі важким завданням.

Для розміщення паливних баків в машині використовуються ободні об'єми, що залишаються після установки двигуна, трансмісії і інших великих агрегатів. Частина паливних баків для збільшення ємності системи

постачання може бути встановлена зовні машини. У спеціальних випадках ці баки повинні легко зніматись.

Очишувачі повітря розташовують в місцях найменшої запиленості повітря і як можна ближче до двигуна, щоб зменшити опір трубопроводів і займаний ними об'єм.

Розміщення водяних і масляних радіаторів визначається обраною системою охолодження. Як правило їх розташовують біля повітряних потоків кришки корпусу. Повітря, яке поступає у моторне відділення, проходить крізь радіатори, омиває агрегати устаткування і викидається зовні. Частина повітря направляється до очишувача повітря та йде на поживлення двигуна. Циркуляція повітря забезпечується вентилятором.

Технічне обслуговування агрегатів моторного устаткування здійснюється через люки, які розташовані у кришці корпусу (над двигуном і очишувачами повітря) та в днищі (під водяним і масляним насосами).

9.2. Конструювання бортових передач

9.2.1. Загальні вимоги

Бортові передачі, або, як їх часто називають, бортові редуктори, служать для постійного збільшення передаточного числа трансмісії.

Вимоги до бортових передач. Величина крутного моменту швидкохідних двигунів внутрішнього згоряння порівняно мала. Водночас при русі машини до провідних коліс потрібно підводити моменти, що перевищують моменти двигуна в десятки разів. Здійснюється ця вимога за рахунок введення в трансмісію машини відповідного передаточного числа. Останнє в залежності від схеми трансмісії може розноситися по різним агрегатам. Однак, щоб не перевантажувати агрегати надмірним крутним моментом, найбільш доцільно проводити основне збільшення передаточного числа в одному агрегаті, розміщеному в самому кінці силового ланцюга. Таким агрегатом і є бортова передача, яка встановлюється безпосередньо перед ведучим колесом. У цьому випадку більш складні агрегати -

коробка передач, механізми повороту – навантажені відносно невеликим крутним моментом і, отже, мають прийнятні вагу і габарити, і управління ними значно полегшується.

Встановлювані на гусеничних машинах бортові передачі залежності від типу машини мають постійні передаточні числа в межах 3,5-15.

У порівнянні з іншими агрегатами трансмісії бортові передачі працюють в особливо важких умовах, так як при постійній роботі в них реалізуються великі передаточні числа, внаслідок чого крутний момент на веденому валі досягають декількох десятків тисяч Нм. Об'єми, які займають бортові передачі, зазвичай обмежені; ведений вал виходить назовні з корпусу і підлягає впливу води, бруду, пилу і т. п. Крім того, жорстко пов'язана з ведучим колесом бортова передача сприймає великі динамічні навантаження, що виникають при русі машини.

З урахуванням сказаного до бортових передач пред'являються наступні вимоги:

- високі міцність, зносостійкість шестерень, валів і підшипників;
- надійне змащення поверхонь тертя;
- підтримання нормального температурного режиму.

Перша з цих вимог забезпечується правильним вибором типу схеми, раціональною конструкцією, використанням високоякісних матеріалів, оптимальною технологією обробки і монтажу, відповідним підбором мастила і ущільнень, що виключають потрапляння води, бруду і пилу в картер бортової передачі.

Друга вимога забезпечується раціональною організацією процесу змащення (до всіх поверхонь, що труться), підбором сорту змащувального матеріалу (не повинно відбуватися видавлювання його з зони контакту зубчастих пар), застосуванням надійних ущільнень, що роблять неможливими виток мастила, використанням сапунів, які вирівнюють тиск в картері передачі.

Третя вимога забезпечується вибором достатнього об'єму масляної ванни, організацією інтенсивного тепловідведення,

який має місце при хорошому контактуванні картера бортової передачі з корпусом машини, а також при розміщенні ребер на зовнішній поверхні картера і охолодженні останнього повітрям.

Інші вимоги збігаються з загальними вимогами, характерними для агрегатів трансмісії.

Класифікація. Класифікація бортових передач проводиться за такими ознаками.

За кількістю рядів шестерень: однорядні; дворядні. Однорядні бортові передачі (рис. 9.2, *a*, *б*, *в*) складаються з одного ряду шестерень з нерухомими або рухомими осями, і передаточне число в них перетворюється один раз. Дворядні складаються відповідно з двох рядів (рис. 9.2, *г*, *д*, *е*), і передавальне число в них перетворюється двічі, послідовно в першому і другому рядах.

За конструктивним виконанням: прості; планетарні; комбіновані. Прості бортові передачі мають шестерні з нерухомими осями. На рис. 9.2 представлені прості однорядні з зовнішнім (*a*) і внутрішнім (*б*) зачепленнями і дворядна (*г*) бортові передачі. В планетарних використовуються один (*в*) або два (*д*) ряди шестерень з рухомими осями. У комбінованих (*е*) перший ряд складається з шестерень з нерухомими, а другий – з рухомими осями.

За розташуванням ведучого і веденого валів: співвісні; неспіввісні. У співвісних бортових передачах осі ведучого і веденого валів лежать на одній лінії, в неспіввісних осі не співпадають. Перші характерні для планетарних, другі - для простих і комбінованих передач.

За способом встановлення ведучого колеса: розвантажені; нерозвантажені. У перших на ведений вал бортової передачі зусилля від ведучого колеса не передається, так як останнє за допомогою спеціальних підшипників спирається безпосередньо на корпус (рис. 9.2, *е*).

В цьому випадку ведуче колесо з'єднується з веденим валом за допомогою зубчастої муфти. У других передачах ведуче колесо жорстко кріпиться на веденому валі (наприклад, рис. 9.2, *a*). Отже, останній, крім крутного моменту, додатково навантажений згинальним моментом від ведучого колеса.

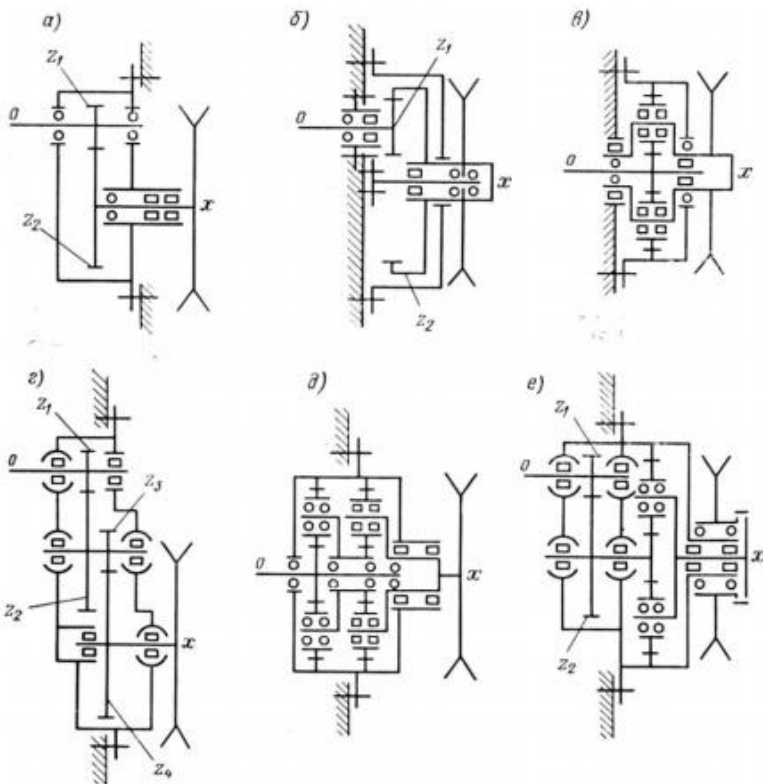


Рис. 9.2. Кінематичні схеми бортових передач

9.2.2. Схеми та конструктивні особливості бортових передач

Основні схеми, за якими виконують бортові передачі гусеничних машин, подано на рис. 9.2.

На рис. 9.2, *a* показано однорядну просту бортову передачу з зовнішнім зачепленням. Передаточне число дорівнює відношенню числа зубців, тобто: $i_{12} = z_2/z_1$. В існуючих конструкціях i_{12} змінюється від 3,5 до 6,8. Дана схема отримала широке застосування через простоту і порівняно малі габарити. Крім того, вона показала надійну роботу, особливо в машинах легкої вагової категорії.

Планетарна співвісна бортова передача (рис. 9.2, *в*) зазвичай виконується у вигляді елементарного планетарного ряду з одинарними сателітами. При показаному закріпленні ланок схема забезпечує максимальне передаточне число. У порівнянні з простими – ця передача має підвищену працездатність і надійність. Останнє пояснюється тим, що трансформація крутногомоменту здійснюється через декілька паралельно працюючих зачеплень. Схема передачі компактна і може бути встановлена у ведучому колесі.

Дворядна проста бортова передача (рис. 9.2, *г*) застосовується у випадку, коли потрібно забезпечити або значні міжцентрові відстані між ведучим і веденим валами, або великі передаточні числа (в порівнянні з однорядною). Передаточне число знаходиться за формулою:

$$i_{14} = \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}. \quad (9.10)$$

У порівнянні з іншими дворядними передачами ця схема має великі габарити і малу надійність. Останнє пов'язано з тим, що через зачеплення другої пари шестерень передається великий обертаючий момент.

На рис. 9.2, *д* зображена схема дворядної планетарної передачі. Вона може реалізовувати великі передаточні числа. Бортова передача такого типу порівняно компактна і має високу надійність. Однак вона найбільш складна серед представлених схем.

Дворядна комбінована бортова передача (рис. 9.2, *е*) має найбільш оптимальні характеристики при реалізації великих передаточних чисел. Практично ця схема може перекривати весь ряд передаточних чисел від величин, які важко реалізувати в однорядних передачах ($i_{\text{ор}} = 7$), до величин, необхідних для машин важкої вагової категорії ($i_{\text{ор}} = 12-15$). Серед дворядних передач схема виділяється компактністю і надійністю. У порівнянні зі схемою на рис. 9.2, *д* вона має спрощену конструкцію і не співвісність розташування валів, що іноді важливо для здійснення потрібного компоунування. Для машин

важкої вагової категорії бортова передача виконується розвантаженою, як це показано на схемі.

Найбільшого поширення з усіх, представлених на гусеничних машинах, отримали бортові передачі, виконані за схемами на рис. 9.2, *a*, *в*, *е*. На рис. 9.2-9.4 представлені їх конструктивні особливості.

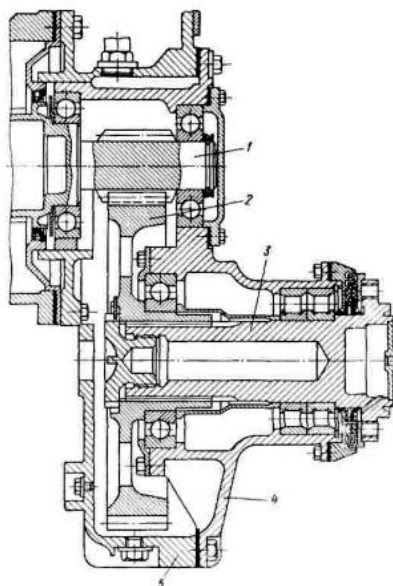


Рис. 9.3. Конструкція однорядної простої бортової передачі

На рис. 9.3 показана конструкція бортової передачі, виконаної за схемою на рис. 9.2, *a*. Передаточне число $i_{\text{ор}} = 5,55$. Шестерні прямозубі. Ведучий вал 1 виконаний як одне ціле з шестернею і кріпиться на двох кулькових підшипниках, при чому правий сприймає тільки радіальне, а й осьове навантаження. Ведена шестерня 2 виготовляється окремо і кріпиться на веденому валу 3 за допомогою шліців. З іншого кінця на вал встановлюється ведуче колесо, перетворюючи бортовий редуктор в не розвантаженому передачу. Ведений вал спирається на дві опори. Перша складається з кулькового

підшипника і сприймає як радіальні, так і осьові навантаження (останні в основному передаються від ведучого колеса). Друга включає два роликів підшипника і призначена для сприйняття радіальних навантажень, що передаються від шестерні і ведучого колеса. Картер 5 приварюється до корпусу машини, причому в зйомній кришці картера 4 розташовані гнізда для всіх опор. Мастило заливається безпосередньо в картер. Ущільнення – комбіноване і складається з лабіринту, фетрових кілець і самопіджимних сальників.

На рис. 9.4 представлена конструкція бортової передачі, виконаної за схемою на рис. 9.2, б. Передаточне число 5,50. Ведучий 1 і ведений 2 вали кріпляться на двох опорах, причому кулькові підшипники сприймають радіальні і осьові навантаження, а роликів – тільки радіальні. Картер 3 – литий і за допомогою болтів кріпиться до корпусу машини, одночасно він служить ванною для заливки мастила. Ведуче колесо 4 кріпиться на веденому валу бортової передачі.

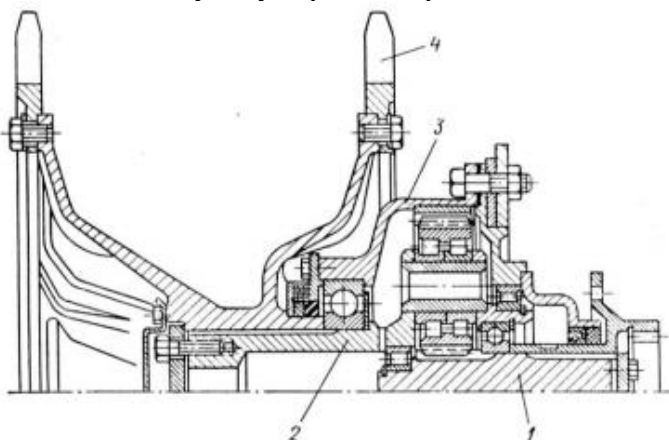


Рис. 9.4. Конструкція однорядної планетарної бортової передачі

Конструкція бортової передачі, виконаної за схемою на рис. 9.2, е, показана на рис. 9.4. Передаточне число $i_{\text{бр}} = 13,02$. Всі вали спираються на дві опори. У якості опори першого ряду використовуються сферичні роликів підшипники. Ведений вал другого ряду – водило 3 – кріпиться на роликів підшипниках,

встановлених в кронштейні картера 2. Шестерні першого ряду з'єднуються з валами за допомогою шліців. Сонячна шестерня другого ряду нарізана безпосередньо на валу 5. Епіцикл 1 виготовляється окремо, запресовується в картер і потім заварюється. Ця бортова передача відноситься до розвантаженому типу, т.я. ведуче колесо через кулькові підшипники спирається безпосередньо на кронштейн картера. З веденим валом 3 ведуче колесо зв'язується за допомогою зубчастої муфти 4. Передача має складне ущільнення, яке складається з лабіринту, фетрових і самопіджимних сальників. Картер служить одночасно і масляною ванною, він кріпиться до корпусу машини за допомогою болтів.

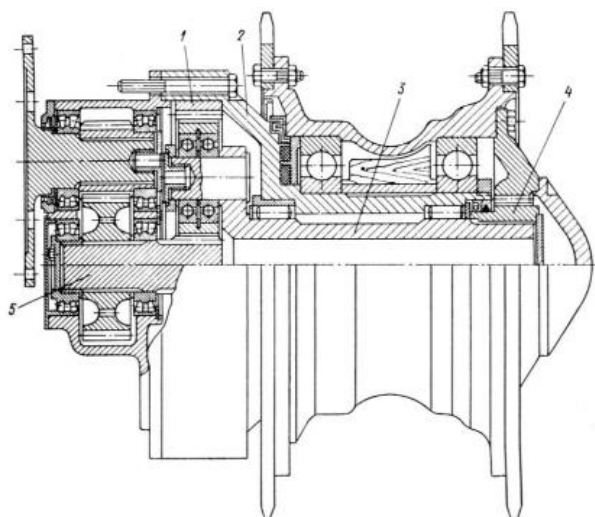


Рис. 9.5. Конструкція двоохрядної комбінованої бортової передачі

9.2.3. Особливості розрахунку бортової передачі

Бортова передача розраховується як звичайна зубчаста передача. Особливість полягає лише в визначенні розрахункового моменту. Через те, що бортова передача розташована за механізмом повороту, через неї передається не лише момент двигуна, а й рекуперативний момент, т. т.

передача піддається великому навантаженню. Останнє призвело до того, що за розрахунковий момент приймається максимальний момент, який виникає при найбільшій силі тяги по зчепленню на набігаючій гусениці при повороті в гору на максимальному крені. Цей момент визначається за формулою:

$$M_d = 0,65 \frac{Gr_{в.к.}}{i_{14}}, \quad (9.11)$$

де M_d – розрахунковий момент на ведучому валу бортової передачі, Н;

G – вага машини;

$r_{в.к.}$ – радіус ведучого колеса, м.

Допустимі напруження для шестерень і валів бортових передач рекомендується приймати рівними нижнім межам допустимих напружень для шестерень і валів коробок передач.

Питання для самоперевірки та повторення

1. Дати визначення поняття «агрегат».
2. Призначення силового агрегата.
3. Які характеристики повинні забезпечувати обслуговуючі двигун системи і агрегати.
4. Як визначають питому потужність машин?
5. Яким чином можна забезпечити підвищення потужності сучасних двигунів?
6. Який механізм є основним споживачем потужності, яка втрачається у моторному устаткуванні?
7. За яким показником здійснюють порівняльну оцінку різних конструкцій двигунів?
8. Основні вимоги до компонування моторного устаткування.
9. Основні вимоги до бортових передач.
10. Класифікація бортових передач.

Тестові питання

1. Оберіть агрегат із нижче переліченого
 - вал
 - шестерня
 - шасі
 - трактор
 - бульдозер
2. Яке призначення силового агрегату?
 - отримання механічної потужності, потрібної для подолання зовнішніх сил опору руху машини
 - отримання механічної потужності, потрібної для подолання сили тертя
 - створення максимального крутного моменту
 - створення мінімального крутного моменту
 - передача радіальних сил
3. Оберіть вірний вираз для визначення питомої потужності
 - $N_{\Pi} = \frac{N_{emax}}{m}$
 - $N_{\Pi} = \frac{N_{emin}}{m}$
 - $N_{\Pi} = \frac{N_{emax}}{n}$
 - $N_d = \frac{F}{m}$
 - $N_{\Pi} = \frac{N_{emax}}{F}$
4. Оберіть залежність за якою визначають загальні втрати потужності у моторному устаткуванні за умови застосування вентиляторної системи охолодження
 - $N_{м.у.}^B = N_B + N_{в.о.} + N_{вип}$
 - $N_{м.у.}^B = N_{еж} + N_{в.о.} + N_{вип}$
 - $N_{м.у.}^B = N_{еж} + N_{в.о.} + N_{max}$
 - $N_{м.у.}^B = N_{маш} + N_{р.о.} + N_{вип}$
 - $N_{м.у.}^B = N_B + N_{в.о.}$
5. Оберіть залежність для визначення ККД моторного устаткування

$$\begin{aligned}
 - \eta_{\text{м.у.}} &= \frac{N_e - N_{\text{м.у.}}}{N_e} = \frac{N_D}{N_e} \\
 - \eta_{\text{м.у.}} &= \frac{N_e - N_{\text{м.у.}}}{N_e} = \frac{N_D}{N_e} \\
 - \eta_{\text{м.у.}} &= \frac{N_{\text{м.у.}} - N_e}{N_e} = \frac{N_B}{N_e} \\
 - \eta_{\text{м.у.}} &= \frac{N_e - N_{\text{м.у.}}}{F} = \frac{N_D}{N_e} \\
 - \eta_{\text{м.у.}} &= \frac{F_e - F_{\text{м.у.}}}{F} = \frac{F_D}{F_e}
 \end{aligned}$$

6. Оберіть найбільш повний перелік вимог до бортових передач

- висока міцність, зносостійкість шестерень, валів і підшипників, надійне змащення поверхонь тертя, підтримання нормального температурного режиму

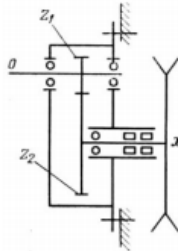
- висока потужність, крутний момент на веденому валу, малі габарити, надійність, забезпечення міцності всіх елементів передачі

- високі міцність, зносостійкість шестерень, валів, незначний крутний момент на веденому валу, малі габарити

- висока потужність, крутний момент на веденому валу, малі габарити, надійність

- високі міцність, зносостійкість шестерень, валів і підшипників, надійне змащення поверхонь тертя

7. Яка бортова передача зображена на рис.?

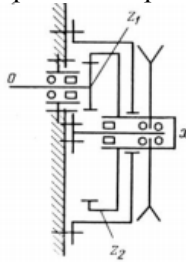


- проста однорядна з зовнішнім зачепленням
- проста однорядна з внутрішнім зачепленням
- комбінована передача
- проста дворядна передача
- сателітна передача

8. Яким чином класифікують бортові передачі за конструктивним виконанням?

- прості, планетарні, комбіновані
- однорядні, дворядні
- циліндричні, конічні, шевронні
- прямозубі, косозубі
- прямозубі, косозубі, з круговим зубом

9. Яка бортова передача зображена на рис.?



- проста однорядна з внутрішнім зачепленням
- проста однорядна з зовнішнім зачепленням
- проста дворядна з внутрішнім зачепленням
- проста дворядна з зовнішнім зачепленням
- комбінована передача

10. Оберіть вірну залежність для визначення розрахункового моменту, який виникає при найбільшій силі тяги по зчепленню на набігаючий гусениці при повороті в гору на максимальному крені

- $M_d = 0,65 \frac{Gr_{в.к.}}{i_{14}}$
- $M_d = 0,56 \frac{Gr_{в.к.}}{i_{14}}$
- $M_d = 9555 \frac{Gr_{в.к.}}{i_{14}}$
- $M_d = 0,65 \frac{Gi_{14}}{r}$
- $M_d = 655 \frac{F}{i_N}$

ТЕМА 10. ЗБИРАННЯ ВУЗЛІВ ТА АГРЕГАТИВ

План викладу матеріалу

10.1. Види з'єднань

10.2. Технологія збирання

10.3. Види робіт при збиранні

10.4. Розбиття виробів на збиральні одиниці

10.5. Побудова технологічної схеми збирання

10.6. Методи збирання та їхні особливості

10.1. Види з'єднань

У процесі складання деталі з'єднуються між собою, утворюючи з'єднання.

З'єднання деталей- це конструктивне скріплення деталей для утворення з них механізмів, агрегатів, приладів та інших виробів. Утворене з'єднання під час збирання можна розглядати так само, як спряження частин виробів, яке визначається заданими в конструкторській документації їх відносним положенням і видом зв'язку між ними, що позбавляє ці частини певного числа ступенів свободи.

Різноманіття видів з'єднань деталей при збиранні характеризується різними конструктивними, технологічними і економічними факторами: ступенем відносної рухливості або нерухомості; можливістю або неможливістю розбирання; технологічністю збирання та демонтажу; видом контакту спряжених поверхонь деталей; міцністю, хімічною стійкістю, витратами праці; засобами для збирання.

Вибір найбільш економічно доцільного виду з'єднання - це сфера конструювання машин і механізмів.

З'єднання поділяють на рухомі та нерухомі (рис. 10.1).

Нерухомі – це з'єднання двох або декількох деталей, які в процесі роботи не виконують відносні рухи. Необхідність у використанні нерухомих з'єднань виникає у зв'язку з вимогою розділення машини на складальні одиниці, а останні на деталі для забезпечення зручної обробки, збирання, ремонту, транспортування. Нерухоме з'єднання може бути нероз'ємним і роз'ємним.

З'єднання нерухомі можна розділити на з'єднання загального призначення, з'єднання деталей, які охоплюють одна одну (вал-маточина шківів, вал-внутрішнє кільце підшипника) і деталей, які розташовані послідовно (колеса та шківів передачі, вали двох агрегатів).

Роз'ємні з'єднання (шпонкові, шліцеві, клемові, різьбові та ін.) допускають розбирання з'єднання деталей без пошкодження елементів. Роз'ємні з'єднання загального призначення можуть бути конструктивні, технологічні. За принципом передачі навантаження розрізняють *з'єднання зачепленням та фрикційні*.

Нероз'ємні з'єднання (зварні, паяні, клепані та ін.) не дають змоги виконувати розбирання з'єднаних деталей без пошкодження елементів.

Рухомі з'єднання. Необхідність цього типу з'єднання визначається кінематикою машини: під час роботи деталі виконують відносні переміщення, передбачені їхнім функціональним призначенням. Заданий характер руху деталей визначає вибір конструкцій з'єднання, наприклад, для встановлення обертової деталі у нерухомій (вала у корпусі) застосовують з'єднання за допомогою вальниць. Рухомі з'єднання – роз'ємні. Рухомі з'єднання можна розділити на пружні, постійні з'єднання деталей, які виконують відносний обертальний або поступальний рух – підшипники та напрямні ковзання і кочення, а також періодичні з'єднання обертових деталей за допомогою керованих та самокерованих муфт.

Суттєвою характеристикою з'єднання є нерівномірність розподілу навантаження та напружень між його елементами. У багатьох випадках щільність (герметичність) з'єднань – труб, апаратів, які містять рідину та гази, циліндрів і штоків є головною характеристикою їхньої роботоздатності. *Основні типи з'єднань повинні задовольняти таким вимогам:*

а) конструкція з'єднання не повинна призвести до зменшення міцності деталей, які входять до його складу;

б) забезпечення рівномірності (навантажувальна здатність не повинна бути меншою за навантажувальну здатність деталей з'єднання);

- в) забезпечення зрівноваженості та точності відносного розташування деталей з'єднання;
- г) забезпечення зручності збирання та розбирання (для роз'ємних з'єднань);
- д) забезпечення технологічності;
- е) забезпечення взаємозаміни деталей у з'єднанні;
- є) забезпечення простоти конструкції.

10.2. Технологія збирання

Збирання є завершальною частиною процесу виготовлення машини і здійснюється безпосередньо після механічної обробки. Трудомісткість збиральних робіт дорівнює 10-15% від трудомісткості механічної обробки у масовому виробництві, 25-40% – у серійному, 30-60% – в одиничному та дрібносерійному. Така висока трудомісткість в останніх двох випадках пояснюється тим, що значна частина деталей під час збирання потребує слюсарної обробки й пригонки.

Технологічний процес збирання – сукупність дій, які пов'язані зі з'єднанням у встановленій технічно та економічно доцільній послідовності деталей у вузли і агрегати, а останніх – у готовий виріб (механізм, машину).

Згідно ГОСТ 3.1109-82 розрізняють три типи технологічних процесів:

- одиничний;
- типовий;
- груповий.

Одиничний технологічний процес – процес виготовлення або ремонту виробу одного найменування, типу розміру та виконання незалежно від типу виробництва.

Типовий технологічний процес – процес виготовлення групи виробів із спільними конструктивними та технологічними ознаками.

Груповий технологічний процес – технологічний процес виготовлення групи виробів з різними конструктивними, але спільними технологічними ознаками.

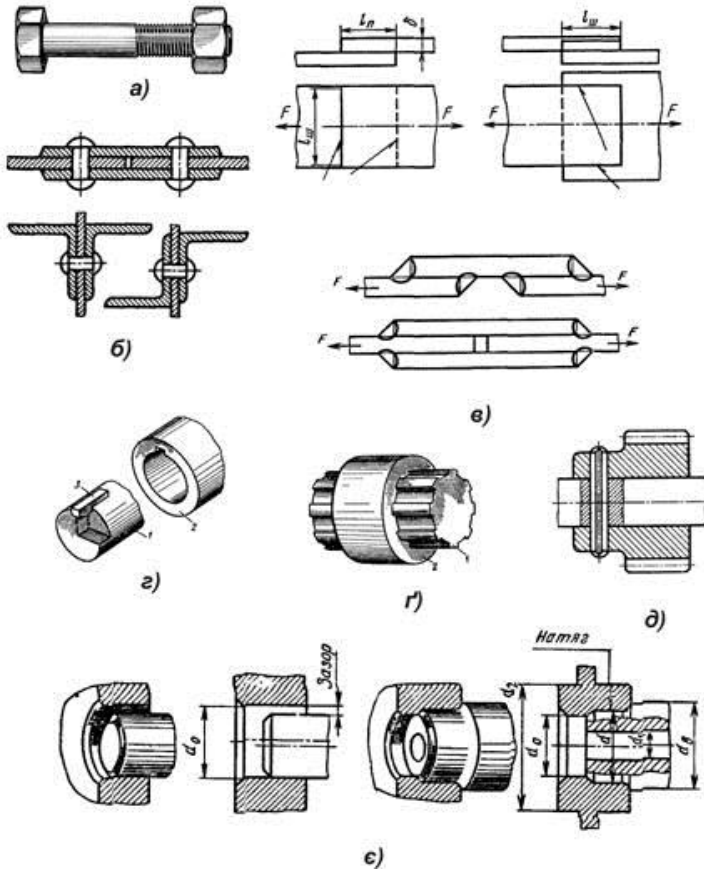


Рис. 10.1. З'єднання деталей машин: а) різьбове, б) заклепкові, в) зварні, г) шпонкове, д) штифтове, е) з'єднання з натягом

Збиральна операція – технологічна операція встановлення і утворення складових частин виробу, яка є закінченою частиною технологічного процесу збирання, здійснюється на одному робочому місці, одним або декількома робітниками.

Збирання машин неможна проводити у довільній послідовності. Послідовність процесу збирання визначається насамперед конструкцією виробу або його складових частин та потребою в розділенні збиральних робіт. Встановлена

послідовність вводу деталей і груп у технологічний процес збирання виробу характеризує систему його комплектування.

Послідовність комплектування може бути одноваріантною для простих складальних одиниць і багатоваріантною для груп виробів.

Прикладом одноваріантної послідовності комплектування є складальна одиниця, представлена на рис. 10.2.

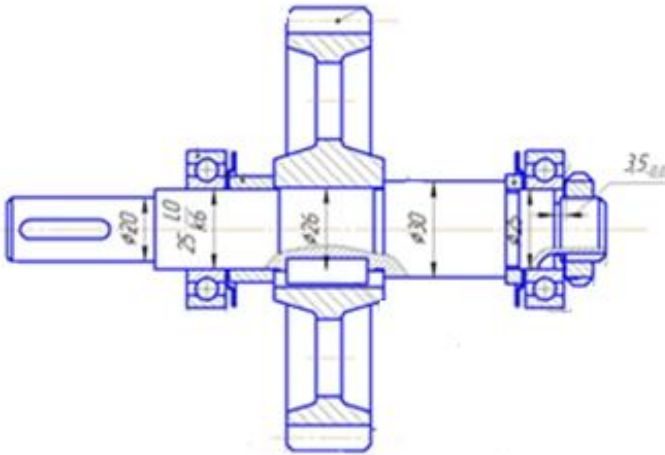


Рис. 10.2. Вал в зборі

10.3. Види робіт при збиранні

Види та зміст складальних робіт встановлюються на стадії підготовки виробництва залежно від конструкції виробу, видів з'єднань, які входять до складу виробу, серійності випуску.

Значний вплив на види робіт в процесі збирання мають методи збирання, які закладені в конструкції виробу. Відомими є наступні групи збиральних робіт:

- 1) Допоміжні роботи;
- 2) Слюсарні роботи;
- 3) Слюсарно-збиральні роботи.

Допоміжні роботи пов'язані із підготовкою деталей та покупних виробів до виконання процесу збирання. До допоміжних робіт відносять: розконсервування, промивку, сортування, вкладання, тощо. Очищення та миття дозволяють забрати з поверхні деталей металеву стружку, пил, абразивний порошок та інші забруднення, які є причиною виходу з ладу виробу у ході його експлуатації. Мийка проводиться механічним шляхом або хімічним, або електромеханічним, або ультразвуковим.

Досягнути відповідності спряжених поверхонь технічному стану можна за рахунок обдува стислим повітрям. Обдув доцільно проводити перед кожною технологічною операцією процесу збирання. Особливої уваги потребують поверхні отворів, пазів, канавок, де найчастіше збирається пил.

Слюсарні роботи потрібно згрупувати за технологічними задачами для вирішення яких вони призначені:

- слюсарні, спрямовані на доробляння виробу (зачищення заусениць, свердління, розсортування отворів, нарізка різи та інші);
- слюсарно-доводочні роботи, наприклад, шабрення, пригонка поверхонь, ін.;
- слюсарно-допоміжні роботи (виготовлення прокладок, різання, вигин труб, тощо);
- балансування деталей та збиральних одиниць;
- обкочування та випробування збиральних одиниць та виробів (перевірка плавності ходу, робото здатності, тощо).

Слюсарно-збиральні роботи поділяють на три групи:

- 1) безпосередньо роботи по збиранню (встановлення, напресування, клепаання, тощо);
- 2) регульовальні роботи, спрямовані на досягнення точності замикаючих ланок складальних розмірних ланцюгів;
- 3) контрольні роботи, які виконуюся в ході виконання збиральних робіт і після їхнього закінчення з метою встановлення відповідності параметрів збирання значенням, які оговорені у технічних умовах.

Контрольні роботи можна відносити також у підготовчо-заклучні операції процесу збирання. До цієї групи відносять

також операції з проміжного збирання деталей для їхньої сумісної обробки та визначення розміру компенсатора.

Під обробкою розуміють пропрацювання пар тертя, виявлення дефектів у процесі роботи механізмів виробу у відповідних режимах, які виконуються під час збирання з метою забезпечення технічних вимог.

Випробування, які можуть бути суміщені з обкатуванням, призначені для перевірки дотримання технічних умов.

Питома вага робіт, які перелічені вище, в загальному процесі збирання залежить від типу виробництва і методу досягнення точності під час збирання. В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва потрібно виконувати пригоночні, слюсарні та роботи з доробляння, об'єми яких становлять 30-50% трудомісткості збиральних робіт.

У крупносерійному та масовому виробництвах застосовують методи повної та часткової взаємозаміни, а об'єм пригоночних робіт зменшується до нуля.

10.4. Розбиття виробів на збиральні одиниці

Для проведення робіт, спрямованих на розбиття виробу на окремі збиральні одиниці, потрібно вивчити конструкцію виробу, виявити всі окремі деталі, які повинні поступити на збирання. Розбиття виробу на збиральні одиниці є головною задачею у ході формування технології збирання.

Перелік робіт, які потрібно виконати перед розбивкою виробу на складові частини:

- 1) вивчити специфікацію на виріб;
- 2) вивчити та проаналізувати умови і норми, які визначають службове призначення виробу та його деталей;
- 3) користуючись складальним кресленням визначити замикаючі ланки розмірних ланцюгів, що використовуються під час збирання;
- 4) ознайомитись із методами отримання потрібної точності замикаючих ланок, які закладені на стадії конструювання виробу.

Розбиття виробу на окремі одиниці потрібно проводити керуючись наступними рекомендаціями:

1) технологічний процес збирання потрібно формувати таким чином, щоб максимально виключити дрібні з'єднання та допоміжні роботи;

2) на загальне збирання потрібно подавати по можливості більшу кількість попередньо зібраних одиниць виробу і меншу кількість окремих деталей;

3) у кожній збиральній одиниці потрібно виділити базову деталь з якої починається процес збирання.

У якості базової складальної одиниці потрібно обирати таку одиницю з якої доцільно починати загальне збирання виробу. Роль базової збиральної одиниці може відігравати рама, корпус, корпус редуктора, тощо.

Послідовність загального збирання може бути багатоваріантною, особливо під час збирання складних виробів.

Після вибору базової деталі визначають послідовність встановлення на неї всіх збиральних одиниць і деталей з урахуванням наступних рекомендацій [Балакшин]:

1) збирання потрібно починати з деталей та одиниць, розміри яких належать найбільшій кількості розмірних ланцюгів;

2) у кожному розмірному ланцюгу збирання потрібно починати з тих деталей та одиниць, розміри яких не утворюють замикаючих ланок.

Нижче наведено приклад розбиття одноступінчастого черв'ячного редуктора (рис. 10.3) на збиральні одиниці з урахуванням вимог до точності черв'ячної передачі.

Вимогою до збирання черв'ячного редуктора є забезпечення вірного зачеплення черв'яка з черв'ячним колесом. У процесі розбиття редуктора на збиральні одиниці потрібно враховувати характер з'єднань (посадок) між деталями: вал 11 – підшипники 15 (перехідна посадка); маточина 31 – вінець 1 (посадка з натягом); кришка 10 – корпус в зборі 3, 4 (посадка з зазором); підшипник 15 – кришки 10, 15 (посадка з зазором); кришки 7 і 9 – корпус 2 (посадка з зазором).

Черв'як 5 можна зібрати окремо з внутрішнім кільцем підшипника 25 і кришкою 7 в зборі (деталі 36 і 23).

Кришка корпусу 4 – одиниця в зборі, до складу якої входять збірна одиниця черв'яка, кришка в зборі.

На загальну зборку поступають: кришка корпусу редуктора, деталі 2, 17, 27, 6, 14.

10.5. Побудова технологічної схеми збирання

Процес збирання розробляється на основі наступної вихідної інформації:

- Складальне креслення виробу;
- Специфікації;
- Робочі креслення деталей;
- Базовий технологічний процес збирання аналогічного виробу;
- Річну або загальну програму випуску виробу;
- Креслення контрольних приспособлень для збирання таких самих або аналогічних виробів;
- Характеристики обладнання для збирання (каталоги, альбоми типових приспособлень);
- Нормативні довідники для нормування збиральних робіт.

Технологічна схема збирання – графічне представлення процесу комплектування (послідовність збирання) виробу і складальних одиниць. Під час побудови схем складальних елементів виробу кожна деталь, група і підгрупа позначаються прямокутником; у лівій частині якого ставиться індекс деталі, у середині – найменування, праворуч-кількість деталей, що монтуються, груп, підгруп (рис. 10.4).

Індексация елементів виробу проводиться у відповідності з номерами, які проставлені на кресленнях, наступним чином: деталі позначають присвоєними номерами; вузли позначають буквами СК (складання); кожному вузлу присвоюють номер базової деталі, яка входить до його складу, який проставляють за літерним позначенням СК (наприклад, група з базовою деталлю № 5 позначається СК-5) порядок підгруп вказують

відповідним індексом перед літерами СК (наприклад, 1СК-5, що означає підгрупу 1-го порядку з базовою деталлю № 5).

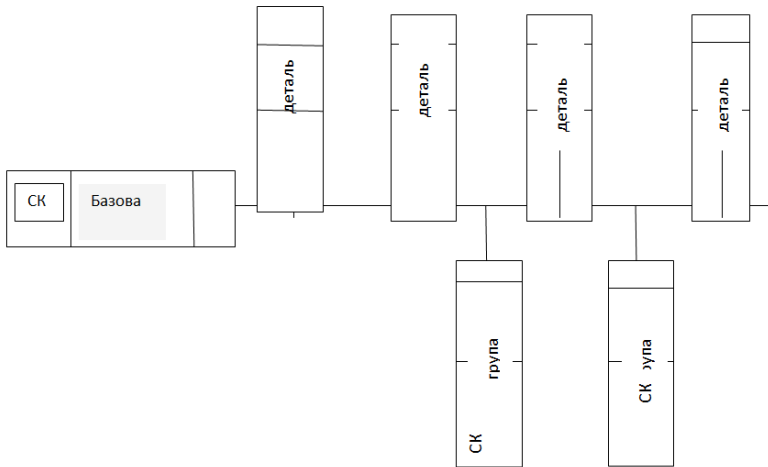


Рис. 10.4. Приклад збільшеної схеми складальних елементів виробу

Базовою називають основну деталь з якої починається збирання виробу або вузла. **Базовою підгрупою** будь-якого порядку називають основну підгрупу, з якої починають збирання підгрупи вищого порядку.

Деталлю називають частину виробу, яка виконується з одного виду матеріалу без застосування складальних операцій.

Вузлом називають частину виробу, що являє собою з'єднання деякої кількості деталей.

Вузол, який безпосередньо входить до складу виробу, називають **групою**.

Вузол, що входить у групу – **підгрупою 1-го порядку**; вузол, який входить у підгрупу 1-го порядку – підгрупою 2-го порядку і т.д. (рис. 10.5) порядку і т.д.

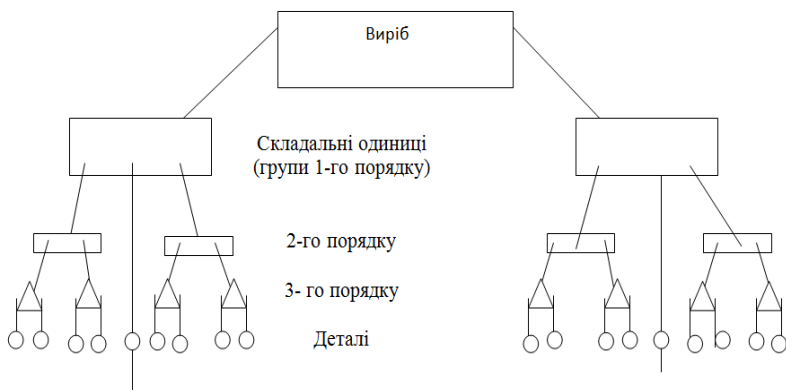


Рис. 10.5. Загальне компонування виробу

Розглянемо її побудову для маточини (рис. 10.6).

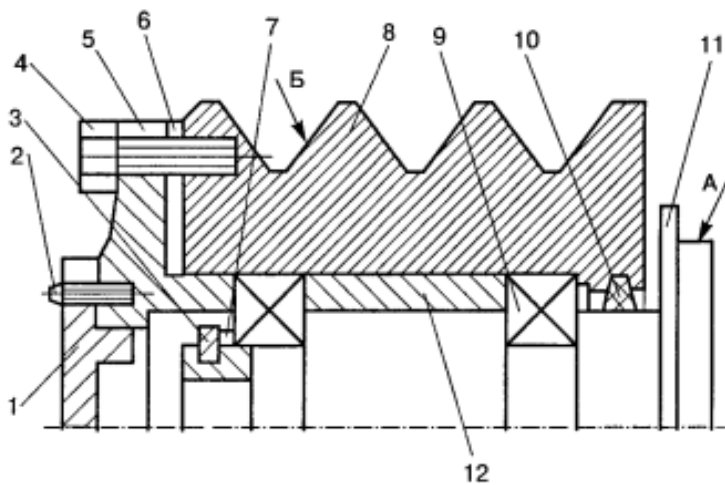


Рис. 10.6. Ескіз маточини: 1 – кришка, 2 – гвинт (4 шт.), 3 – шайба, 4 – гвинт, 5 – фланець, 6 – прокладка, 7 – кільце компенсуючі, 8 – шків, 9 – підшипник, 10 – кільце ущільнююче, 11 – маточина, 12 – втулка

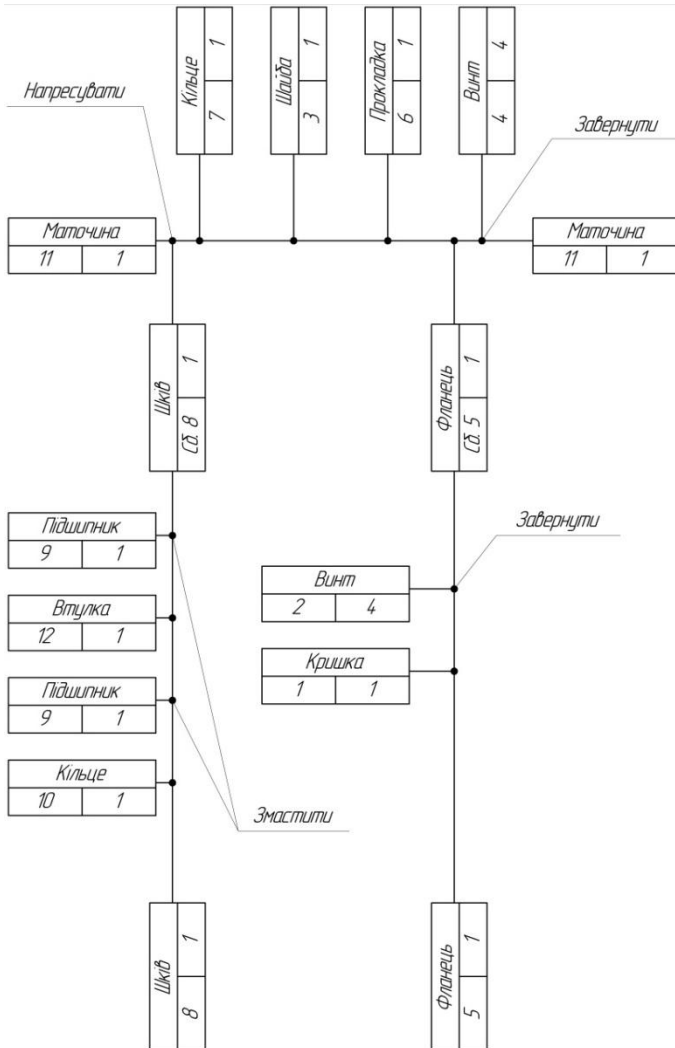


Рис. 10.7. Технологічна схема збирання маточини

Після розробки схем збирання встановлюють склад потрібних підготовчих робіт та визначають зміст операцій і переходів (табл. 10.1).

Таблиця 10.1

Зміст операцій і переходів

Номер операції	Найменування операції	Зміст операції
1	Збирання шківів (ск. 8)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Закрепити шків (дет 8) у пристосованні 2. Встановити ущільнювач кільце (дет 10) 3. Змастити і встановити підшипник (дет. 12) 4. Змастити і встановити підшипник (дет. 9)
2	Встановлення шківів (ск. 8)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Закріпити маточину (дет. 11) у пристосованні 2. Напресувати шків (ск. 8) на маточину (дет. 11) 3. Протерти і встановити кільце (дет. 7) 4. Встановити шайбу (дет. 3) 5. Встановити прокладку (дет. 6)
3	Збирання фланцю (ск. 5)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Закріпити фланець (дет. 5) у пристосованні 2. Встановити кришку (дет. 1) 3. Закріпити кришку (дет. 1) гвинтами (дет. 2)
4	Встановлення фланцю (ск. 5)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити фланець (ск. 5) 2. Закріпити фланець (ск. 5) гвинтами (дет. 4)
5	Контрольна	<ol style="list-style-type: none"> 1. Перевірити легкість обертання шківів 2. Перевірити биття поверхні А відносно поверхні Б

10.6. Методи збирання та їхні особливості

Залежно від того, як забезпечується необхідна точність спряження деталей машини, а також точність взаємного розміщення різних поверхонь, збирання проводиться різними методами. У машинобудуванні збирання здійснюють такими методами: *повної взаємозамінюваності, неповної взаємозамінюваності, групової взаємозамінюваності, пригонки та регулювання.*

Збирання з повною взаємозамінюваністю забезпечує задану точність замикаючої ланки без додаткової обробки деталей або вибору. Усі складальні одиниці зібрані при цьому методом з потрібною точністю для усіх виробів. Таке збирання спрощує організацію виробництва і полегшує переведення його на поточний метод, створює можливість кооперування та зручність експлуатації.

Збирання з неповною взаємозамінюваністю полягає в тому, що потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга забезпечується не в усіх зібраних об'єктах, а тільки в частини. Таким чином, на відміну від вищерозглянутого методу встановлюються більш ширші допуски на усі складові ланки розмірного ланцюгу. У результаті цього в деякій частини об'єктів відхилення замикаючої ланки може вийти за встановлений (монтажний) допуск, тобто існує певний ризик (до 5-7%).

Складання з груповою взаємозамінюваністю застосовують у малоланкових складальних розмірних ланцюгах, які характеризуються високою точністю замикаючої ланки. Задана точність досягається включенням до неї складових, що належать до однієї з груп, на які вони попередньо поділені.

Збирання з пригонкою полягає у тому, що задана точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною компенсуючої ланки шляхом зняття шару металу. Основними операціями тут є шабрування, обпилювання, полірування, притирка, свердлування отворів за місцем.

Збирання з регулюванням полягає у тому, що потрібна точність замикаючої ланки забезпечується без зняття металу за

рахунок використання компенсаторів, які можуть бути рухомими й нерухомими. До рухомих компенсаторів відносяться, наприклад, втулки й кільця, які фіксуються гвинтом. Як нерухомі компенсатори використовують кільця, шайби, прокладки та ін.

Для кожної складальної одиниці визначають величину компенсуючої ланки і залежно від цього для розмірного ланцюга вибирають нерухомий компенсатор. Цим забезпечується часткова компенсація зносу, що з'являється у процесі роботи складальної одиниці.

Питання для самоперевірки та повторення

1. Класифікація з'єднань деталей машин.
2. Наведіть приклади нерухомих і рухомих з'єднань.
3. Яким вимогам повинні задовольняти з'єднання деталей машин?
4. Наведіть визначення технологічного процесу збирання.
5. Які типи технологічних процесів збирання відомі?
6. Наведіть визначення поняття «Збиральна операція».
7. Назвіть основні групи збиральних робіт.
8. Які роботи відносять до допоміжних у процесі збирання виробу?
9. Для вирішення яких технологічних задач призначені слюсарні роботи?
10. На які групи поділяють слюсарно-збиральні роботи, що виконують під час збирання виробів?
11. Наведіть перелік робіт, які потрібно виконати перед розбивкою виробу на складові частини.
12. На основі якої вихідної інформації розробляється процес збирання?
13. Що таке технологічна схема збирання?
14. Яку деталь називають базовою?
15. Дайте визначення поняття «вузол».
16. Основні методи збирання.

Тестові питання

1. На які групи поділяють з'єднання?
 - рухомі та нерухомі
 - закриті та відкриті
 - відносно рухомі та відносно нерухомі
 - цілісні та збірні
 - немає вірного
2. Оберіть найбільш суттєву характеристику з'єднання між його елементами
 - нерівномірність розподілу навантаження та напружень між його елементами
 - рівномірний розподіл навантаження та напружень між його елементами
 - нерівномірність розподілу сил та моментів між його елементами
 - рівномірність розподілу сил та моментів між його елементами
 - спрощення конструкції виробу
3. Які типи технологічних процесів розрізняють згідно ГОСТ 3.1109-82?
 - одиничний; типовий; груповий
 - нетиповий; типовий; масовий
 - одиничний; масовий; серійний
 - дрібносерійний; середньосерійний; крупносерійний
 - одиничний; масовий; дрібносерійний
4. Оберіть вірний перелік груп збиральних робіт
 - допоміжні, слюсарні, слюсарно-збиральні
 - слюсарно-доводочні, слюсарно-збиральні, слюсарно-допоміжні
 - слюсарно-доводочні, слюсарно-збиральні, контрольні
 - допоміжні, основні, контрольні
 - основні збиральні, контрольні, випробувальні
5. Яку одиницю рекомендовано обирати у якості базової?
 - одиницю з якої доцільно починати загальне збирання виробу
 - деталь найменшої маси
 - деталь найменшої металомісткості

- одиницю яку використовують як заключну в процесі збирання

- компенсуючи ланку

6. Графічне представлення процесу комплектування (послідовність збирання) виробу і складальних одиниць називають... (закінчити вираз)

- технологічна схема збирання

- технологічний процес збирання

- технологічний план збирання

- нормативний документ збирального процесу

- технічні умови до збирання

7. Які методи збирання використовують у машинобудуванні?

- повної взаємозамінюваності, неповної взаємозамінюваності, групової взаємозамінюваності, пригонки та регулювання

- повної взаємозамінюваності, неповної взаємозамінюваності, масової взаємозамінюваності, пригонки та регулювання

- повної взаємозамінюваності, взаємозамінюваності, групової взаємозамінюваності, пригонки та регулювання

- взаємозамінюваності, часткової, групової взаємозамінюваності, пригонки та випробування

- взаємозамінюваності, масової взаємозамінюваності, припрацювання та регулювання

8. Який метод забезпечує задану точність замикаючої ланки без додаткової обробки?

- повної взаємозамінюваності

- пригонки

- випробування

- неповної взаємозамінюваності

- регулювання

9. Який метод застосовують у малоланкових складальних розмірних ланцюгах, які характеризуються високою точністю замикаючої ланки?

- групової взаємозамінюваності

- пригонки

- регулювання
- повної взаємозамінюваності
- неповної взаємозамінюваності

10. Як називають метод, що полягає у тому, що потрібна точність замикаючої ланки забезпечується без зняття металу за рахунок використання компенсаторів, які можуть бути рухомими й нерухомими?

- збирання з регулюванням
- пригонки
- регулювання
- повної взаємозамінюваності
- неповної взаємозамінюваності

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Практичне заняття № 1

Тема: Жорсткість. Конструктивні методи підвищення жорсткості

1.1. Теоретичні відомості

Жорсткість – це здатність системи протистояти дії зовнішніх навантажень з найменшими деформаціями. Для машинобудування можна сформулювати наступне визначення: **жорсткість** – це здатність системи протистояти дії зовнішніх навантажень з деформаціями, допустимими без порушення працездатності системи. Поняттям, зворотнім жорсткості, є **піддатливість**.

Жорсткість оцінюють **коефіцієнтом жорсткості**, що є відношенням сили F , яка прикладається до системи, до максимальної деформації f , спричиненої цією силою. Для випадку розтягу-стиску бруса постійного перерізу в межах пружної деформації коефіцієнт жорсткості відповідно до закону Гука:

$$c = \frac{F}{f} = \frac{\sigma S}{f} = \frac{ES}{l}, \quad (1.1)$$

де F , Н – зовнішня сила;

f , мм – величина статичного прогину;

σ , МПа – напруження у небезпечному перерізі бруса;

S , мм² – площа перерізу бруса;

E , МПа – модуль пружності;

l , мм – довжина бруса у напрямку дії сили.

Величина зворотня до коефіцієнту жорсткості – піддатливість (коефіцієнт пружності):

$$\mu = \frac{1}{c}. \quad (1.2)$$

Для випадку кручення бруса постійного перерізу коефіцієнт жорсткості дорівнює відношенню прикладеного до

бруса крутного моменту $M_{кр}$ до викликаного цим моментом кута φ (рад) повороту перерізів бруса на довжині l , мм:

$$c = \frac{M_{кр}}{\varphi} = \frac{GJ_p}{l}, \quad (1.3)$$

де $M_{кр}$, Нмм – крутний момент, прикладений до бруса;

φ , рад – кут закручування;

G , мПа – модуль зсуву;

J_p , мм⁴ – полярний момент інерції перерізу бруса.

Для випадку згину бруса постійного перерізу коефіцієнт жорсткості визначається:

$$c = \frac{F}{f} = a \frac{EI}{l^3}, \quad (1.4)$$

де I , мм⁴, момент інерції перерізу бруса;

l , мм – довжина бруса;

a – коефіцієнт, який залежить від умов навантаження (табл. 2.1).

1.2. Приклад виконання завдання

Задача № 1

Умова: Виконати порівняльний розрахунок жорсткості конструкції при згині за умови різних схем навантаження.

Розглянемо схему навантаження конструкції, подану на рис. 1.1. Визначимо коефіцієнт жорсткості конструкції.

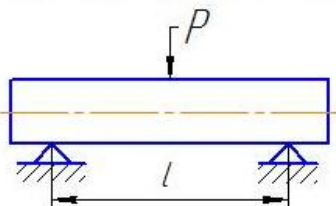


Рис. 1.1. Схема навантаження

$P=300\text{кН}$; $\ell = 1\text{м}$.

Визначити коефіцієнт жорсткості перерізу за умов:

- переріз круглий, діаметр перерізу 50 мм;
- переріз квадратний $b = 20\text{мм}$; $h = 50\text{мм}$.
- матеріал конструкції сірий чавун, модуль пружності $(1,15-1,60) \cdot 10^5\text{МПа}$;
- сталь вуглецева з модулем пружності $(2,0-2,1) \cdot 10^5\text{МПа}$.

Розв'язок

Коефіцієнт жорсткості визначасмо за формулою:

$$k = \frac{EI}{l^3} a,$$

де a – коефіцієнт, який залежить від схеми кріплення деталі (табл. 1.1);

I – момент інерції перерізу.

Для сірого чавуну (круглий переріз) маємо:

$$k = \frac{EI}{l^3} a = \frac{1,15 \times 10^5 \cdot 0,05 \cdot 50^4}{1000^3} 48 = 1725; I \approx 0,05d^4.$$

Для сірого чавуну (квадратний переріз) маємо

$$k = \frac{EI}{l^3} a.$$

Для нашого випадку

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{20 \cdot 50^3}{12} = 208333\text{мм}^4.$$

Тоді

$$k = \frac{EI}{l^3} a = \frac{1,15 \times 10^5 \cdot 208333}{1000^3} 48 = 1150.$$

Для сталі (круглий переріз) маємо:

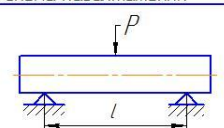
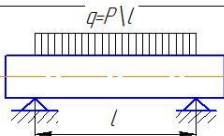
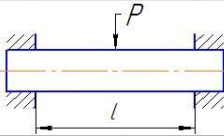
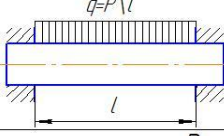
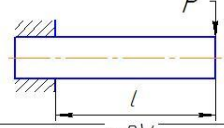
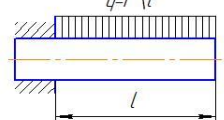
$$k = \frac{EI}{l^3} a = \frac{2,1 \times 10^5 \cdot 0,05 \cdot 50^4}{1000^3} 48 = 3150.$$

Для сталі (квадратний переріз) маємо:

$$k = \frac{EI}{l^3} a = \frac{2,1 \times 10^5 \cdot 208333}{1000^3} 48 = 2099.$$

Таблиця 1.1

Жорсткість при різних схемах навантаження

	Схема навантаження	c	a
1		1	48
2		15	77
3		4	192
4		8	384
5		0.063	3
6		0.166	8

Аналіз отриманих результатів:

1. Жорсткість конструкції зросла при заміні матеріалу – сірий чавун на матеріал – вуглецева сталь, який характеризується вищим модулем пружності.

2. Зміна конфігурації перерізу з круглого на квадратний, яка сприяла зменшенню його площі на 49%, привела до зменшення коефіцієнту жорсткості.

1.3. Завдання для самостійної роботи

Завдання № 1

Змінимо схему навантаження (рис. 1.2).

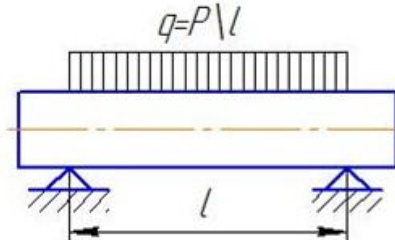


Рис. 1.2. Схема навантаження конструкції

Визначити коефіцієнт жорсткості конструкції за умови, що балка навантажена зосередженою силою q . Розрахунок виконати для круглого перерізу. Діаметр прийняти як у прикладі. Сформулювати висновок.

Довжину бруса прийняти згідно табл. 1.2.

Визначити коефіцієнт жорсткості конструкцій, які подано на рис. 1.3 і 1.4.

Зробити висновки на підставі аналізу виконаних задач.

Прийняти у всіх задачах однакову величину навантаження, довжину конструкції, площу поперечного перерізу та модуль пружності $2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Числові дані для задачі № 1

Номер згідно журналу	l , мм	Номер згідно журналу	l , мм
1	500	16	1330
2	560	17	1390
3	630	18	1450
4	700	19	1500
5	750	20	1525
6	810	21	1570
7	880	22	1600
8	940	23	1640
9	990	24	1680
10	1025	25	1720
11	1070	26	1760
12	1150	27	1800
13	1200	28	1830
14	1240	29	1875
15	1300	30	1900

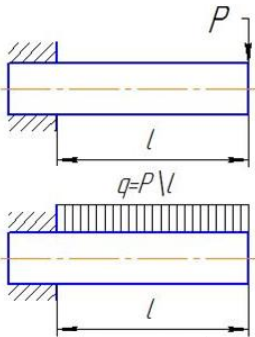


Рис. 1.3. Схеми консольно закріплених конструкцій

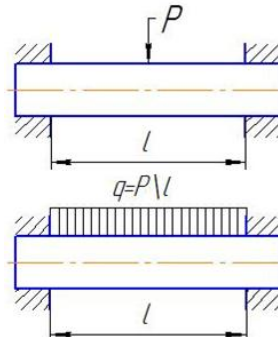


Рис. 1.4. Схеми навантаження брусу, який кріпиться у двох фіксованих опорах

Завдання № 2

На рис. 1.5, 1.6, 1.7 подано схеми консольних конструкцій. Оберіть, на Ваш погляд, конструкції з мінімальною і максимальною жорсткістю. Обґрунтуйте своє рішення.

Завдання № 3

Запропонувати конструктивні зміни з метою збільшення жорсткості конструкції, обраної за табл. 1.3.

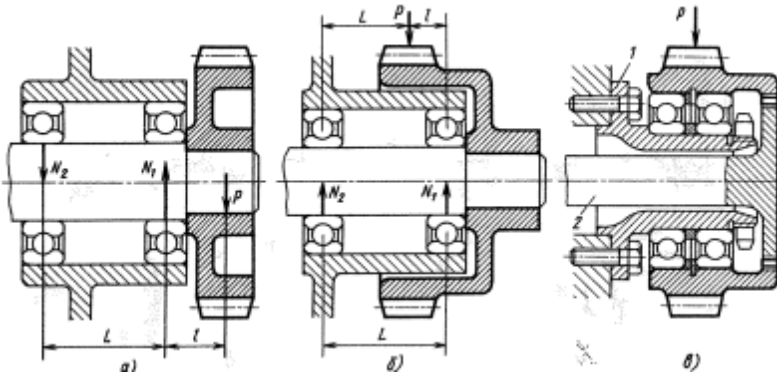


Рис. 1.5. Схема консольної конструкції

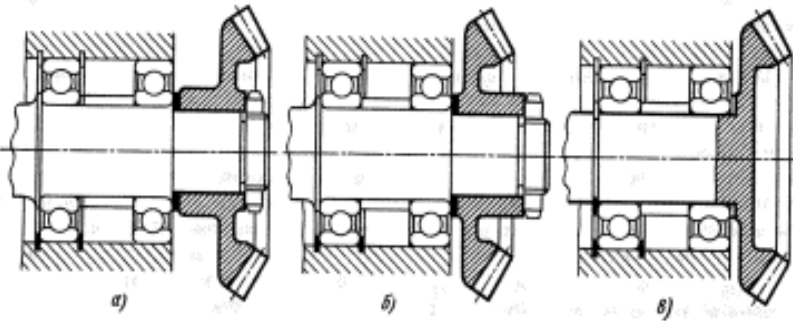


Рис. 1.6. Схема консольної конструкції

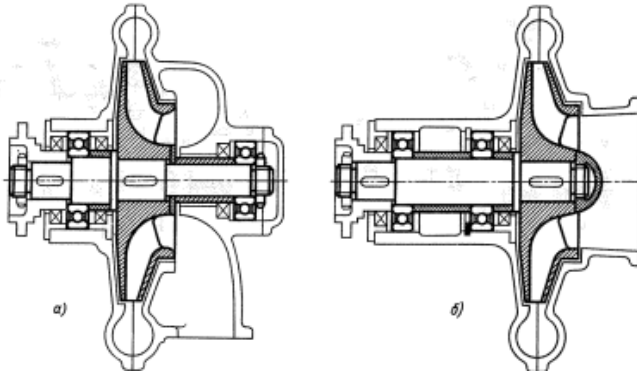


Рис. 1.7. Схема консольної конструкції

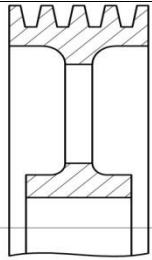
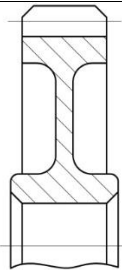
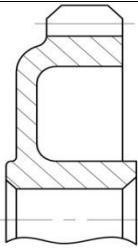
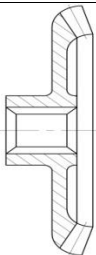
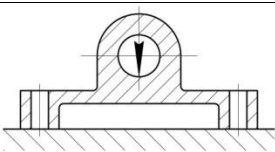
1.4. Порядок виконання та звітування

1. Отримати варіанти задач у викладача.
2. Виконати розрахунки (згідно свого варіанта) згідно умови завдання № 1.
3. Розглянути завдання № 2.
4. Оформити звіт, який повинен містити:
 - 1) умову задачі № 1, розв'язок із поясненнями виконаних дій, висновок за результатами розрахунків.
 - 2) письмову обґрунтовану відповідь на завдання № 2.
 - 3) з використанням програмного продукту КОМПАС 3D зобразити задану викладачем деталь (вузол) з табл. 1.3. Зобразити удосконалену конструкцію, яка вирішує задачу підвищення жорсткості.

Таблиця 1.3

Схеми для виконання завдання

		
<p>1. Опорна шайба – підвищити жорсткість</p>	<p>2. Клема. Усунути згин вушок</p>	<p>3. Усунути деформацію шийки валу, яка виникає під час затягування клеми</p>
		
<p>4. Усунути деформування стінок гальмівного барабану під дією колодок</p>	<p>5. Підвищити жорсткість литої кришки</p>	<p>6. Підвищити жорсткість фланцевого валу</p>

		
<p>7. Підвищити жорсткість маточини шківів пасової передачі</p>	<p>8. Підвищити жорсткість дискового зубчастого колеса</p>	<p>9. Підвищити жорсткість ободу чашкового зубчастого колеса</p>
		
<p>10. Підвищити жорсткість кінцевого зубчастого колеса</p>	<p>11. Підвищити жорсткість цоколю литої провувшини</p>	<p>12. Підвищити жорсткість кронштейну з маточиною</p>
		
<p>13. Підвищити жорсткість зварного з'єднання</p>	<p>14. Підвищити жорсткість трубної колони</p>	<p>15. Підвищити жорсткість рамної консолі</p>

Практичне заняття № 2

Тема: Міцністний аналіз деталей та агрегатів засобом модуля APMFEM

2.1. Теоретичні відомості

Міцнісні розрахунки деталей і вузлів машин є одною з важливих задач інженера, тому сучасні CAD – системи як правило, мають у своєму арсеналі інтегровані модулі для виконання міцнісного аналізу твердотільних моделей і зборок. Однією з таких CAD – систем є система твердотільного моделювання компанії Аскон Компас 3Dv.17.1. Вона містить інтегрований модуль міцнісного аналізу деталей та зборок APM FEM, розроблений компанією APM.

В основі робочих алгоритмів модуля покладено метод кінцевих елементів (МКЕ).

МКЕ є ефективним чисельним методом розв'язку інженерних і фізичних задач. Галузь його застосування тягнеться від аналізу напружень в конструкціях літаків або автомобілів до розрахунку таких складних систем, як атомна електростанція. З його допомогою розглядається рух рідини по трубах, через дамби, в пористих середовищах, досліджується перебіг газу, що стискається, вирішуються завдання електростатики і мастила, аналізуються коливання систем. МКЕ є чисельним методом рішення диференціальних рівнянь, що зустрічаються у фізиці й техніці.

Виникнення цього методу пов'язане з рішенням космічних задач (1950 р.). Область застосування МКЕ істотно поширилася, коли було показано, що рівняння, які описують елементи у задачах будівельної механіки, розповсюдження тепла і гідромеханіки аналогічні. МКЕ з чисельної процедури рішення задач будівельної механіки перетворився на загальний метод чисельного рішення диференціальних рівнянь. Основна ідея МКЕ полягає в тому, що будь-яку безперервну величину, таку як температура, тиск і переміщення, можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі шматково-безперервних функцій. У загальному випадку безперервна

величина наперед не відома, і потрібно визначити значення цієї величини в деяких внутрішніх точках області. Дискретну модель дуже легко побудувати, якщо спочатку припустити, що числові значення цієї величини в кожній внутрішній області відомі. Після цього можна перейти до загального випадку.

1. Отже, при побудові дискретної моделі безперервної величини поступають таким чином: 1 У даній області фіксується кінцева кількість точок. Ці точки називаються вузловими точками або вузлами.

2. Значення безперервної величини в кожній точці вважається змінним, яке має бути визначеним.

3. Область визначення безперервної величини розбивається на кінцеву кількість областей, які називаються елементами. Ці елементи мають загальні вузлові точки і в сукупності апроксимують форму області.

4. Безперервна величина апроксимується на кожному елементі поліномом, який визначається за допомогою вузлових значень цієї величини. Для кожного елемента визначається свій поліном, але поліноми підбираються так, щоб збереглася безперервність величини уздовж меж елемента (його називають функцією елемента). Вибір форми елементів і їх функцій для конкретних завдань визначає точність наближеного рішення і залежить від винахідливості і майстерності інженера.

Основними перевагами МКЕ є:

- Властивості матеріалів суміжних елементів можуть бути різними. Це дозволяє застосовувати метод до тіл, складених з декількох матеріалів.

- Скінченними елементами є прості області (прямі лінії, трикутники, прямокутники, піраміди, призми). Таким чином, даним методом можна апроксимувати тіла із складною формою країв.

- Розміри елементів можуть бути змінними. Це дозволяє збільшувати чи зменшувати елементи сітки.

- За допомогою методу кінцевих елементів легко розглянути граничні умови з розривним поверхневим навантаженням, а також змішані граничні умови.

- Алгоритм методу скінченних елементів дозволяє створити загальні програми для розв'язку завдань різного класу.

- Завдання зводиться до розв'язку системи рівнянь алгебри великої розмірності. Проте хороша обумовленість системи розв'язних рівнянь алгебри дозволяє отримувати досить точні розв'язки для систем рівнянь розмірністю 5-10 мільйонів і більше.

Головний недолік цього методу полягає у потребах великого обсягу пам'яті ЕОМ і високої швидкодії центрального процесора. В наш час розвиток ЕОМ практично усунув цей недолік.

Для роботи модуля потрібно створити твердотільну модель деталі чи вузла.

2.2. Приклад виконання завдання

Нехай маємо вал, робоче креслення якого наведено на рис. 2.1.

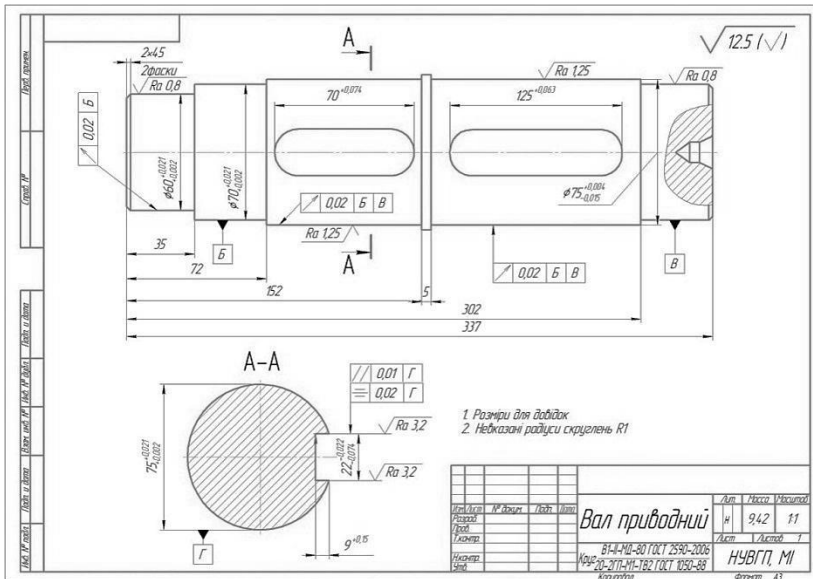


Рис. 2.1. Робоче креслення валу

По заданому робочому кресленню будемо твердотільну модель валу (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Твердотільна модель валу

Далі, з випадаючого списку наборів панелі інструментів вибираємо модуль *APMFEM* і одинарним клацанням по ньому лівою кнопкою миші виконуємо його запуск. Перед початком роботи модуля система пропонує оновити модель, натиснувши клавішу **F5**.

Після чого, згідно з схемою навантажень (рис. 2.3) прикладаємо навантаження до різних ділянок моделі валу за допомогою команд інструментальної панелі.

Спочатку встановлюємо закріплення (опори валу) з допомогою команди **закріплення** (рис. 2.4). Для кращого сприйняття масштаб стрілок закріплення вибираємо рівним **4**, заповнивши відповідне поле на панелі керування, що зліва. Виконання команди фіксуємо, натиснувши на зелену галочку, що на панелі швидкого доступу чи у верхній частині панелі керування.

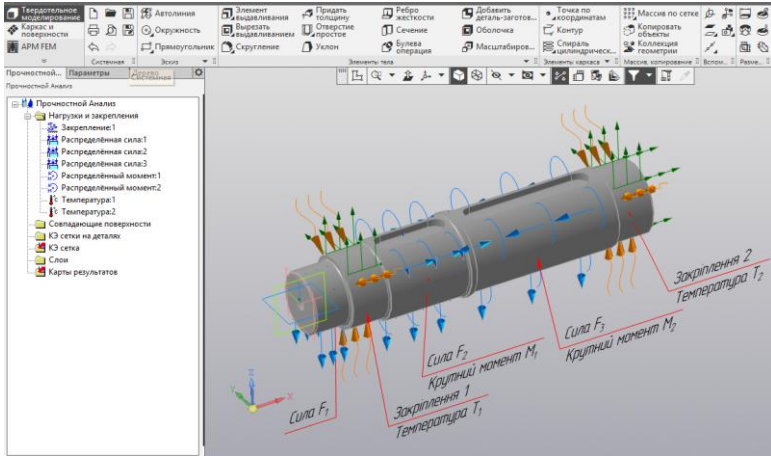


Рис. 2.3. Схема навантажень

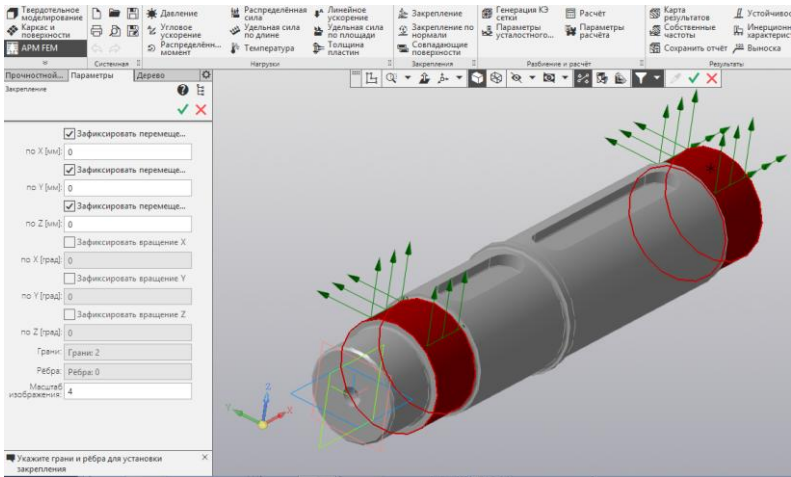


Рис. 2.4. Установка закріплень

Сили прикладаємо з допомогою команди **Розподілена сила** інструментальної панелі (рис. 2.5), не забувши встановити масштаб рівним 4.

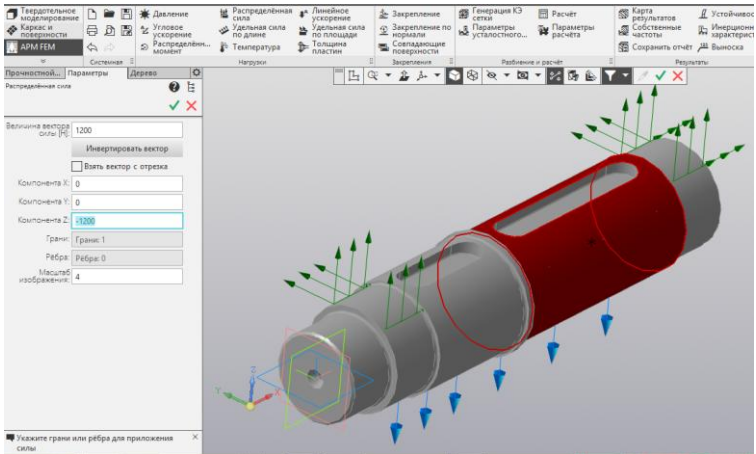


Рис. 2.5. Прикладання сил

Навантажуюмо ділянки з шпонками крутним моментом (рис. 2.6). Для цього на інструментальній панелі викликаємо команду *Розподілений момент*.

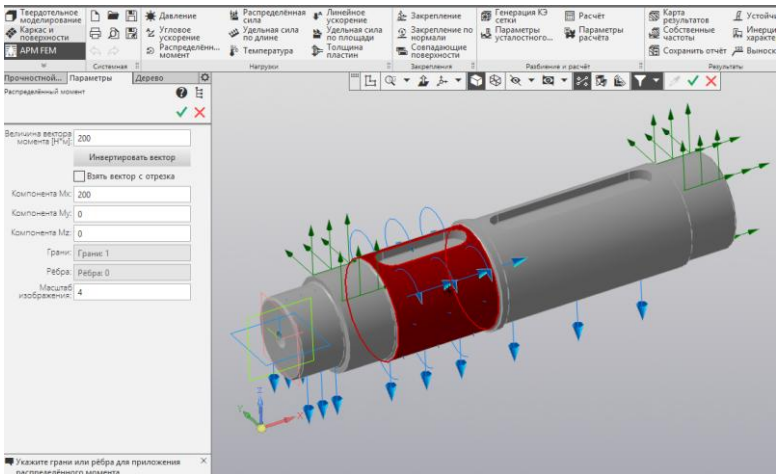


Рис. 2.6. Прикладання крутного моменту

Під час роботи підшипники можуть виділяти тепло. Тому прикладемо очікувану максимальну температуру (рис. 2.7) до опорної поверхні кожного підшипника (там, де закріплення). Для цього викличемо команду *температура*, що на інструментальній панелі.

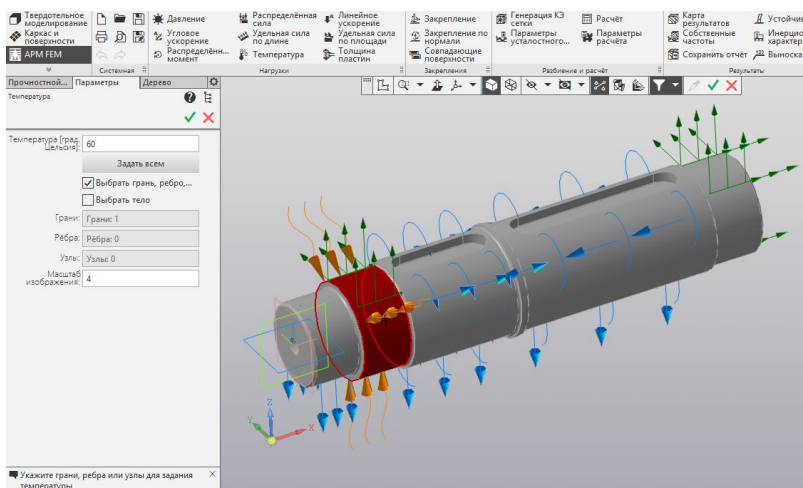


Рис. 2.7. Прикладання температури

Після того, як усі навантаження прикладені, необхідно згенерувати кінцево-елементну сітку. Для цього викликаємо на інструментальній панелі команду *Генерація КЕ сітки*. Параметри команди при цьому не змінюємо (рис. 2.8).

По закінченню генерації КЕ-сітки починаємо розрахунки, запустивши команду *Розрахунок* на інструментальній панелі. При цьому з'явиться вікно вибору типів розрахунків, де крім вже вибраного статичного розрахунку, вибираємо *Власні частоти* і *Тепловий розрахунок* та тиснемо кнопку *Ок*.

Процес розрахунку досить тривалий, причому модуль створює значне навантаження на центральний процесор та підсистему пам'яті. Його тривалість залежить також від розмірів деталі і параметрів КЕ-сітки.

Результати розрахунків можна переглянути за допомогою набору команд, згрупованих у правій частині інструментальної панелі.

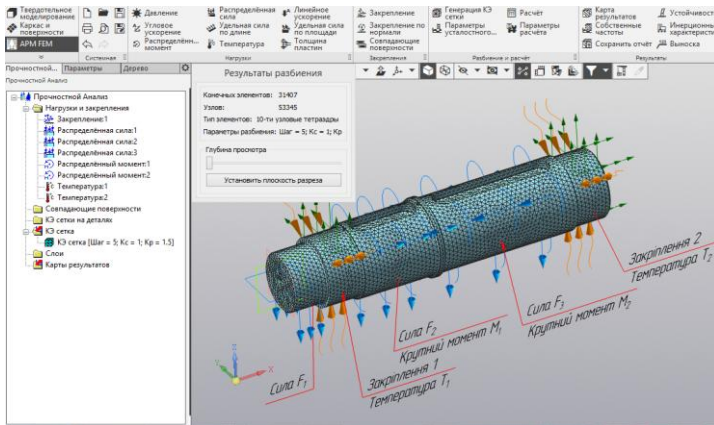


Рис. 2.8. Генерація KE-сітки

Команда *Інерційні характеристики моделі* дає нам наступні результати:

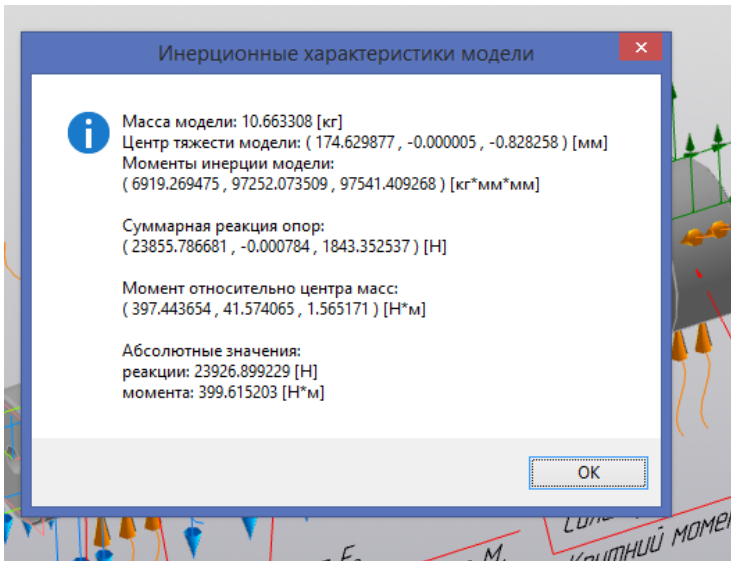


Рис. 2.9. Інерційні характеристики моделі

Для перегляду основних результатів тиснемо кнопку **Карта результатів**. У вікні, що відкрилось, вибираємо той результат, що нас цікавить (наприклад, напруження), вибираємо поле **Будувати карту на недеформованій конструкції** та проставляємо галочку на полі **показувати недеформовану конструкцію**.

Отримана карта результатів матиме такий вигляд:

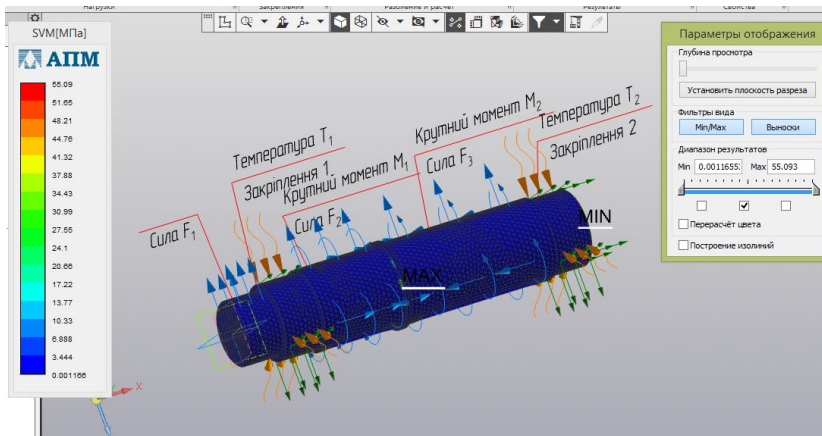


Рис. 2.10. Карта напружень

Як видно, крім кольорової шкали на деталі відмічено виноски максимального і мінімального напруження.

Аналогічним чином переглядаємо інші результати. По результатах розрахунків приймаємо рішення щодо можливості роботи деталі при таких навантаженнях. Якщо результати нас влаштовують, то їх можна згупувати, згенерувавши звіт у вигляді html-файлу.

Якщо напруження в деталі перевищують допустимі, то доцільно змінити конструкцію деталі, прибрати концентратори напружень, поміняти матеріал та ін. Після цього повторюємо розрахунки, видаливши результати та KE-сітку.

2.3. Міцнісний аналіз корпусної деталі «кронштейн» засобом модуля APM FEM

Сучасні CAD – системи як правило, дозволяють виконувати міцнісний аналіз твердотільних моделей. Як об’єкт розрахунків може бути не тільки деталь обертання, а й корпусна деталь чи зборка довільної конфігурації.

Задача, яку потрібно вирішити: для роботи модуля створити твердотільну модель деталі чи вузла

2.3.1. Приклад виконання

Нехай маємо корпусну деталь «вилка», робоче креслення якої наведено на рис. 2.11.

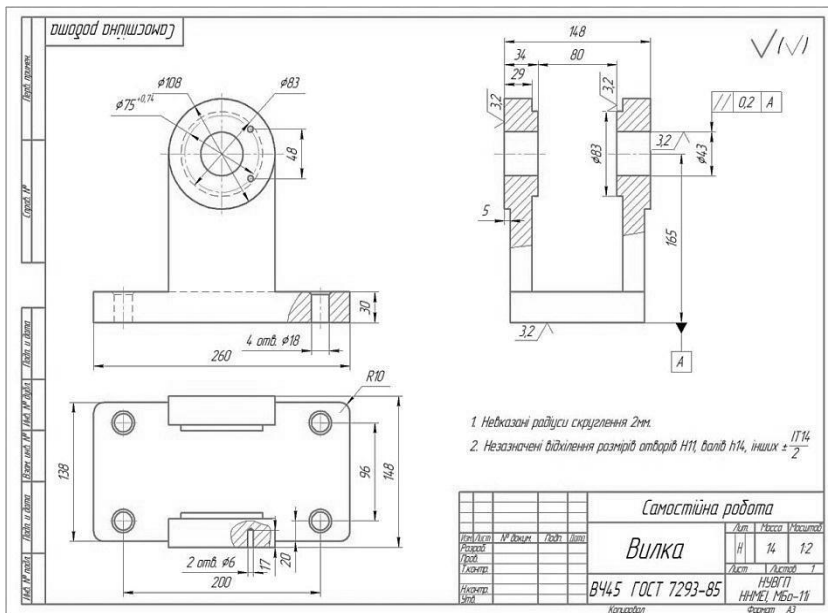


Рис. 2.11. Робоче креслення деталі «вилка»

По заданому робочому кресленню будемо твердотільну модель деталі, запускаємо модуль APMFEM і прикладаємо згідно вихідних даних (табл. 2.1) навантаження так, як показано на рис. 2.12.

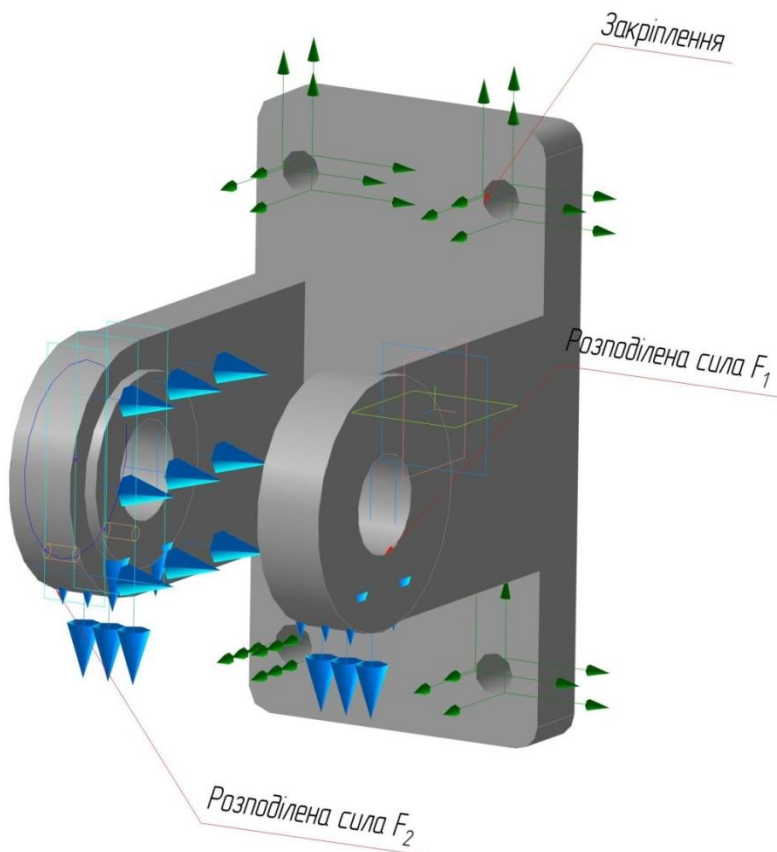


Рис. 2.12. Схема навантажень

Далі по методиці, розглянутій у занятті 1, виконуємо міцнісний аналіз деталі, не забувши оновити модель, натиснувши клавішу **F5**.

Отримавши кінцеві результати, генеруємо звіт у вигляді html-файлу. Якщо за результатами звіту максимальні напруження в деталі перевищують допустимі, тоді необхідно змінити конструкцію деталі та підсилити слабкі місця. Для цього, видаливши KE-сітку, навантаження і результати, допрацьовуємо 3d-модель, після чого, повторивши розрахунки, приймаємо рішення про можливість роботи деталі при заданих навантаженнях.

Якщо ж за результатами звіту максимальні напруження в деталі набагато менші за допустимі, тоді доцільно полегшити деталь, зменшивши, наприклад, товщину пер вилки та товщину основи, та ін., попередньо видаливши KE-сітку, навантаження і результати. Після чого розрахунок повторюють.

2.3.2.Завдання для самостійної роботи

Таблиця 2.1

Вихідні дані

Номер варіанту	Розподілена сила F_1 , Н	Розподілена осьова сила F_2 , Н
1	1600	300
2	1600	400
3	1700	300
4	1700	400
5	1800	300
6	1800	400
7	1900	300
8	1900	400
9	2000	300
10	2000	400

2.4. Міцністний аналіз вузла «блок направляючий» засобом модуля APM FEM

2.4.1. Теоретичні відомості

Міцністний аналіз твердотільних моделей і зборок став невід’ємною частиною сучасних CAD-CAE систем. Проте, у багатьох випадках остаточна раціональна конструкція проєктованої деталі отримується не зразу, а після коректування і уточнення конструкції по результатах первинного міцнісного аналізу. Розглянемо це на прикладі.

2.4.2. Приклад виконання

Нехай маємо вузол «блок направляючий» (рис. 2.13), зборка якого включає ролик і втулку, що обертаються на осі, закріпленій у вилці, яка чотирма болтами з’єднана з кронштейном, який у свою чергу поверхнею, що прилягає до більшої сторони ребра жорсткості, з допомогою чотирьох болтів може бути закріплений до балки чи іншої конструкції.

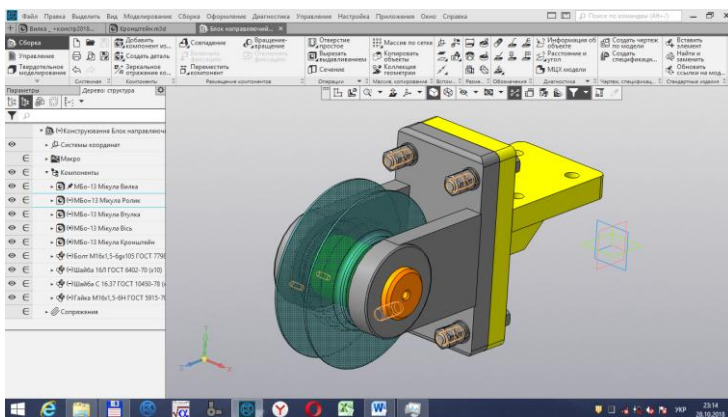


Рис. 2.13. Твердотільна зборка «блок направляючий»

Запускаємо модуль APM FEM і прикладаємо згідно вихідних даних (табл. 2.1) навантаження так, як показано на рис. 2.14.

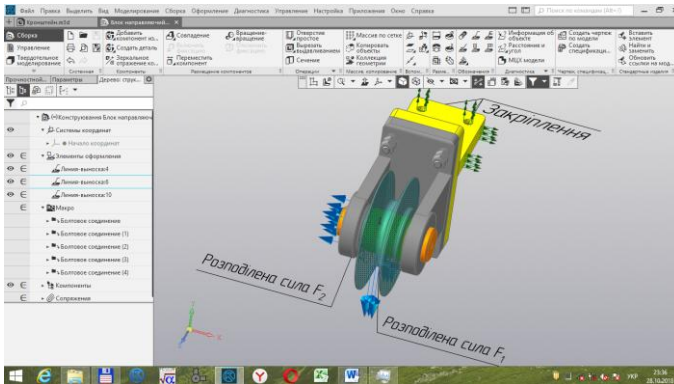


Рис. 2.14. Схема навантажень

Далі по методиці, розглянутій у 2.2, виконуємо міцнісний аналіз деталі, не забувши оновити збірку, натиснувши клавішу **F5**. Особливістю міцнісного аналізу твердотільних зборок є наявність спряжених (співпадаючих) поверхонь у кожній парі контактуючих деталей. Тому при генерації KE-сітки система запропонує визначити співпадаючі поверхні автоматично (рис. 2.15).

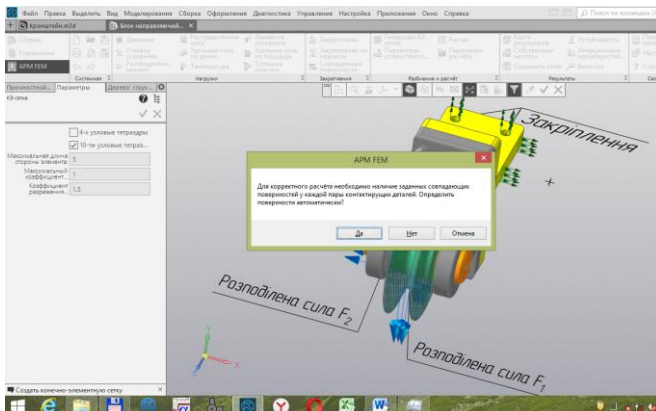


Рис. 2.15. Визначення співпадаючих поверхонь

Отримавши позитивні кінцеві результати, генеруємо звіт у вигляді html-файлу і приймаємо рішення про можливість роботи вказаного вузла при заданих навантаженнях.

2.4.3. Завдання для самостійної роботи

Таблиця 2.2

Вихідні дані		
Номер варіанту	Розподілена сила F_1 , Н	Розподілена осьова сила F_2 , Н
1	1600	300
2	1600	400
3	1700	300
4	1700	400
5	1800	300
6	1800	400
7	1900	300
8	1900	400
9	2000	300
10	2000	400

2.5. Питання для підготовки до захисту робіт

1. Які переваги методу кінцевих елементів?
2. Які недоліки методу кінцевих елементів?
3. Чи потрібна наявність твердотільної моделі для проведення розрахунків?
4. Від чого залежить швидкість розрахунків?
5. Чи впливають розміри деталі на швидкість розрахунків?
6. Чи впливають параметри КЕ-сітки на швидкість розрахунків?
7. Як представлені основні результати розрахунків?
8. Які переваги методу кінцевих елементів?
9. Яка команда виводить на екран масу моделі?
10. Чи потрібна наявність твердотільної моделі для проведення розрахунків?
11. Чи залежить коефіцієнт запасу міцності від конструкції деталі?
12. Яка команда виконує генерацію звіту?
13. Які переваги методу кінцевих елементів?
14. Для чого при повторі розрахунків видаляють КЕ-сітку?

15. Чи потрібно міняти конструкцію деталі, якщо максимальні напруження перевищують межу міцності матеріалу деталі?

16. Чи залежить коефіцієнт запасу міцності від конструкції деталі?

17. Чи буде деталь мати несучу здатність при заданих навантаженнях і коефіцієнті запасу міцності, рівному 0,95?

18. Для чого при повторі розрахунків видаляють попередні результати?

19. Чи потрібно задавати співпадаючі поверхні при розрахунку вузла?

20. Чи потрібно задавати співпадаючі поверхні під час розрахунку деталі?

Практичне заняття № 3

Тема: Відпрацювання конструкцій на технологічність

3.1. Теоретичні відомості

У відповідності з ГОСТ 14.205-83, «технологічність конструкцій – це сукупність властивостей конструкції виробу, які визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат під час виробництва, експлуатації та ремонті для заданих показників якості, об'єму випуску і умов виконання робіт» Оцінюють технологічність конструкції на рівні виробів, складальних одиниць і деталей.

У даній роботі розглянемо кількісні показники технологічності конструкцій деталей. Мета забезпечення технологічності конструкцій деталей – підвищення продуктивності праці і якості виробу при максимальному зниженні витрат часу і засобів на розробку, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, експлуатацію, ремонт.

Технологічність конструкції виробу оцінюють кількісно за допомогою системи показників. Обов'язковими показниками є:

1. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів

$$K_{у.д.} = \frac{Q_{п.}}{Q_{у.п.}}, \quad (3.1)$$

де $Q_{\text{п}}$ – загальна кількість поверхонь деталі, яка підлягає оцінці;
 $Q_{\text{у.п.}}$ – кількість уніфікованих поверхонь.

До уніфікованих відносять: галтелі, різі, фаски, шліци, шпонкові пази, проточки.

2. Коефіцієнт застосування поверхонь, які обробляються стандартним інструментом

$$K_{\text{ст.}} = \frac{Q_{\text{ст.}}}{Q_{\text{з.}}}, \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{ст.}}$ – число поверхонь деталі, які обробляються стандартним інструментом, шт.;

$Q_{\text{з.}}$ – загальна кількість поверхонь, які проходять механічну обробку.

3. Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{M_{\text{д.}}}{M_{\text{з.}}}, \quad (3.3)$$

де $M_{\text{д.}}$ – маса деталі;

$M_{\text{з.}}$ – маса заготовки.

4. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{\text{то}} = 1 - \frac{1}{\text{ІТ}_{\text{сер}}} = 1 - \frac{\sum n_q}{\sum \text{ІТ}_q n_q}, \quad (3.4)$$

де $\text{ІТ}_{\text{сер}}$ – середній квалітет точності обробки поверхонь виробу;

ІТ_q – квалітет точності обробки;

q – цифровий індекс квалітету точності поверхні деталі;

n_q – число розмірів відповідного квалітету точності.

5. Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{Ra_{\text{сер}}} = \frac{\sum n_{Ra_i}}{\sum Ra_i n_{Ra_i}}, \quad (3.5)$$

де Ra_i – числове значення шорсткості i -ї поверхні;

n_{Ra_i} – число поверхонь відповідної величини шорсткості, для яких дана шорсткість є рівною.

6. Абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення виробу:

$$T_{\text{вир}} = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (3.6)$$

де T_i – трудомісткість виготовлення i -ї складової частини виробу у норма годинах;

n – число складових частин у виробі.

7. Рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення:

$$K_{\text{р.т.}} = \frac{T_{\text{виг.}}}{T_{\text{баз}}}, \quad (3.7)$$

де $T_{\text{баз}}$ – базовий показник трудомісткості виготовлення;

$T_{\text{виг.}}$ – досягнуте значення трудомісткості виготовлення.

8. Рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю:

$$K_c = \frac{C_d}{C_b}, \quad (3.8)$$

де C_d – собівартість, яка досягнута під час виготовлення виробу;

C_b – базовий показник собівартості.

Виріб рахується технологічним, якщо:

$K_{\text{р.т.}}, K_c, K_{\text{в.м.}} < 1,0$ (у цьому випадку трудомісткість та собівартість виготовлення виробу менше базового значення, а використання конструкційного матеріалу є раціональним);

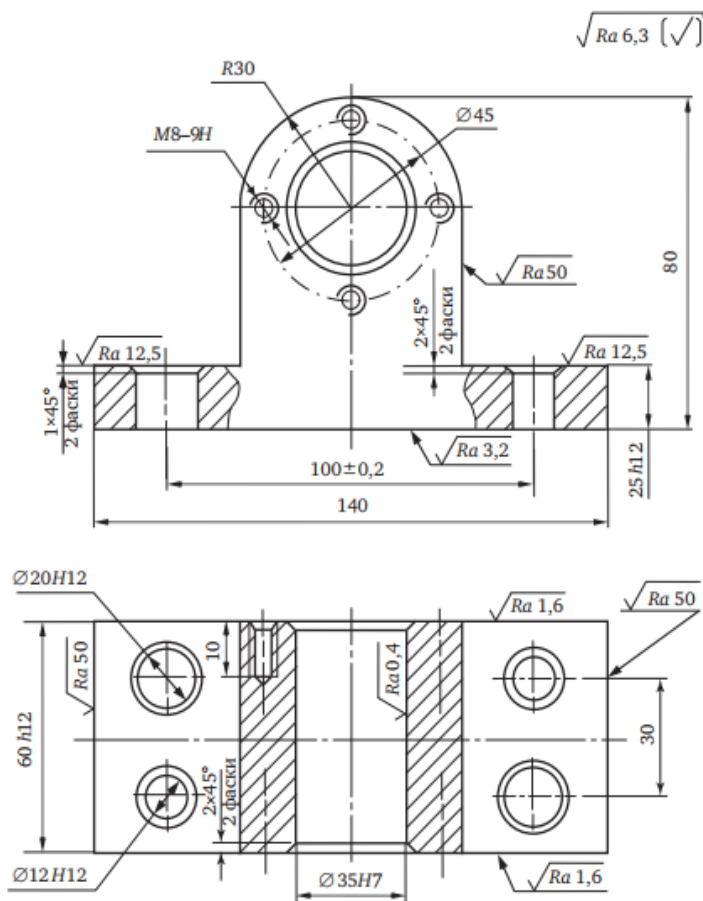
$$K_{\text{у.д.}} > 0,6; K_{\text{тo}} \geq 0,875; K_{\text{ш}} \leq 0,32.$$

3.2. Приклад виконання завдання

Відпрацювати на технологічність деталь – корпус. Маса деталі 0,95 кг. Матеріал – сплав магнієвий МЛ5 (рис. 3.1). Спосіб отримання заготовки – лиття. Маса заготовки 1,1 кг. Трудомісткість механічної обробки деталі 45 хв. При базовій трудомісткості (трудомісткість виготовлення аналога) 58 хв.

Технологічна собівартість деталі 1050 грн при базовій собівартості 1225 грн.

Потрібно визначити кількісні показники технологічності конструкції даної деталі і зробити висновки про технологічність конструкції даного виробу.



1. H14, h14, $\pm IT\ 14/2$

Рис. 3.1. Ескіз деталі

Розв'язок

Виконаємо технологічний аналіз конструкції деталі за поверхнями. З цією метою розділимо дану деталь на окремі поверхні (рис. 3.2), визначимо кількість поверхонь, число уніфікованих елементів, а також квалітет точності і параметр шорсткості для кожної поверхні (табл. 3.1).

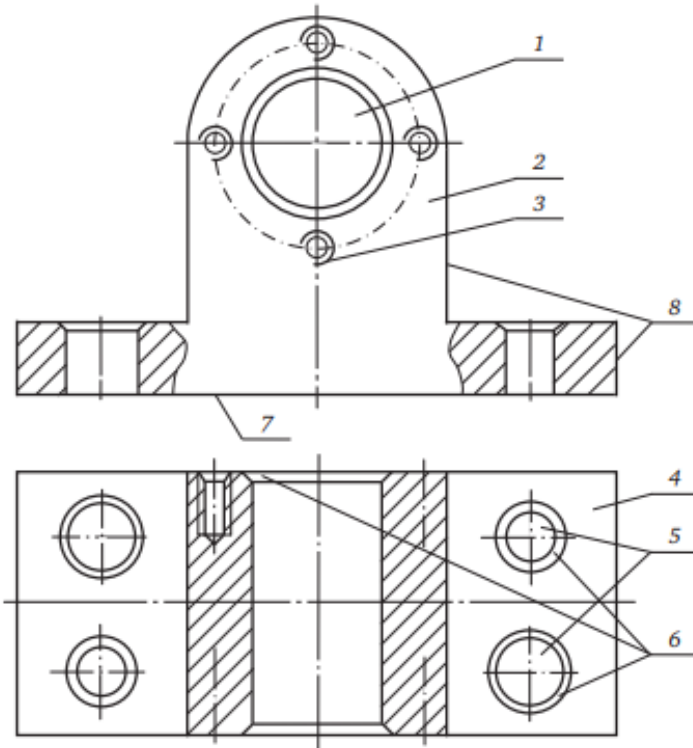


Рис. 3.2. Виділення окремих поверхонь деталі: 1 – отвір головний; 2 – торець корпусу; 3 – різьбові отвори; 4 – верх основи; 5 – отвори основи; 6 – фаски отворів; 7 – опорна поверхня; 8 – бічні поверхні основи

1. Визначимо рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення

$$K_{p.t.} = \frac{T_{\text{виг}}}{T_{\text{баз}}} = \frac{45}{58} = 0,775.$$

Деталь за даним показником технологічна, так як її трудомісткість у порівнянні з базовим показником нижча на 22,5%.

2. Визначимо технологічну собівартість виробу.
За умовою задачі $C_6 = 1225$ грн.

$$K_c = \frac{C_d}{C_6} = \frac{1050}{1225} = 0,857.$$

Деталь є технологічною за даним показником, через те, що її собівартість зменшилась на 14,3%.

3. Визначимо коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі.

Згідно даним таблиці 3.1 число уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів у виробі 19. Використовуємо формулу (3.1), маємо

$$K_{y.d.} = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{y.п.}} = \frac{19}{27} = 0,704.$$

За даним показником деталь технологічна. $K_{y.d.} > 0,6$.

4. За залежністю (3.3) визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = \frac{M_d}{M_3} = \frac{0,95}{1,1} = 0,86.$$

Використання матеріалу є задовільним.

5. Визначимо коефіцієнт точності обробки.

$$IT_{\text{сер}} = \frac{\sum n_q}{\sum IT_q n_q} = \frac{7 \cdot 1 + 9 \cdot 8 + 12 \cdot 9 + 14 \cdot 9}{1 + 8 + 9 + 9} = 11,59.$$

Тоді, маємо:

$$K_{\text{то}} = 1 - \frac{1}{IT_{\text{сер}}} = 1 - \frac{1}{11,59} = 0,914.$$

Так як $K_{\text{то}} > 0,875$, деталь є технологічною за даним показником.

Таблиця 3.2

Конструктивні характеристики деталі

Найменування поверхні	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих елементів	Квалітет точності	Параметр шорсткості, R_a , мкм
отвір головний	1	1	7	0,4
торець корпусу	2	0	12	1,6
різбові отвори	8	8	9	6,3
верх основи	2	0	12	12,5
отвори основи	4	4	12	6,3
фаски отворів	6	6	14	6,3
опорна поверхня	1	0	12	3,2
бічні поверхні основи	3	0	14	50
Всього	27	19		

6. Визначимо коефіцієнт шорсткості поверхні. Для цього визначимо середню величину шорсткості поверхонь деталей:

$$Ra_{\text{сер}} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_{Ra_i}}{\sum n_{Ra_i}} = \frac{0,4 \cdot 1 + 1,6 \cdot 2 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 18 + 12,5 \cdot 2 + 50 \cdot 3}{1 + 2 + 1 + 18 + 2 + 3} = 10,93 \text{ мкм.}$$

Тоді маємо:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ra_{сер}} = \frac{1}{10,93} = 0,09 \text{ мкм}^{-1}.$$

Так, як $K_{ш} < 0,32$ деталь є технологічною за даним показником.

3.3. Завдання для самостійної роботи

Завдання № 1

Визначити технологічність деталі за коефіцієнтами трудомісткості, собівартості, використання матеріалу, точності, шорсткості на основі даних, поданих у табл. 3.3.

Завдання № 2

Визначити кількісні показники технологічності для деталі, обраної згідно рис. 3.3.-3.14.

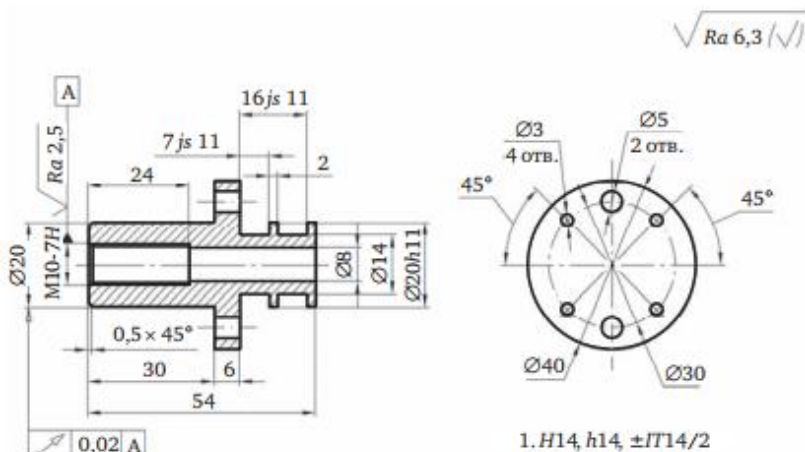
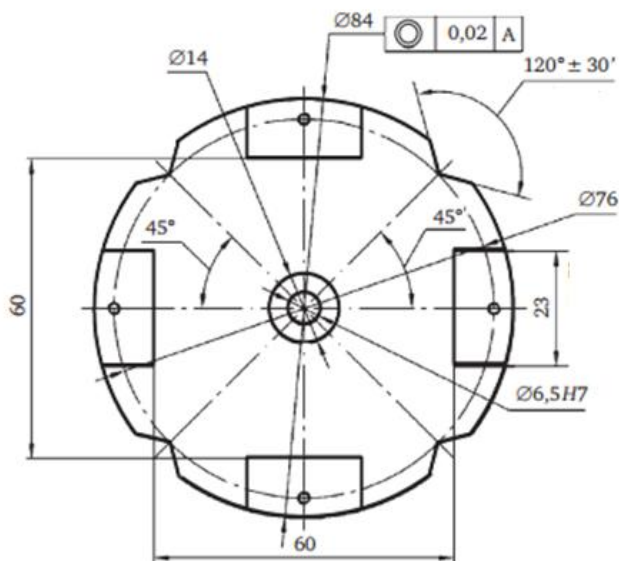
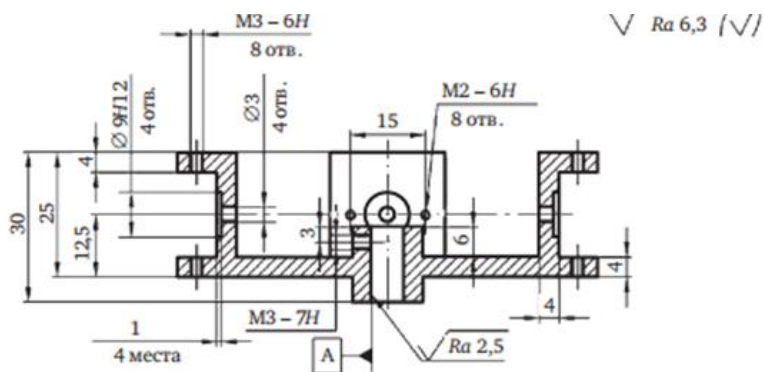


Рис. 3.3. Перехідник

Таблиця 3.3

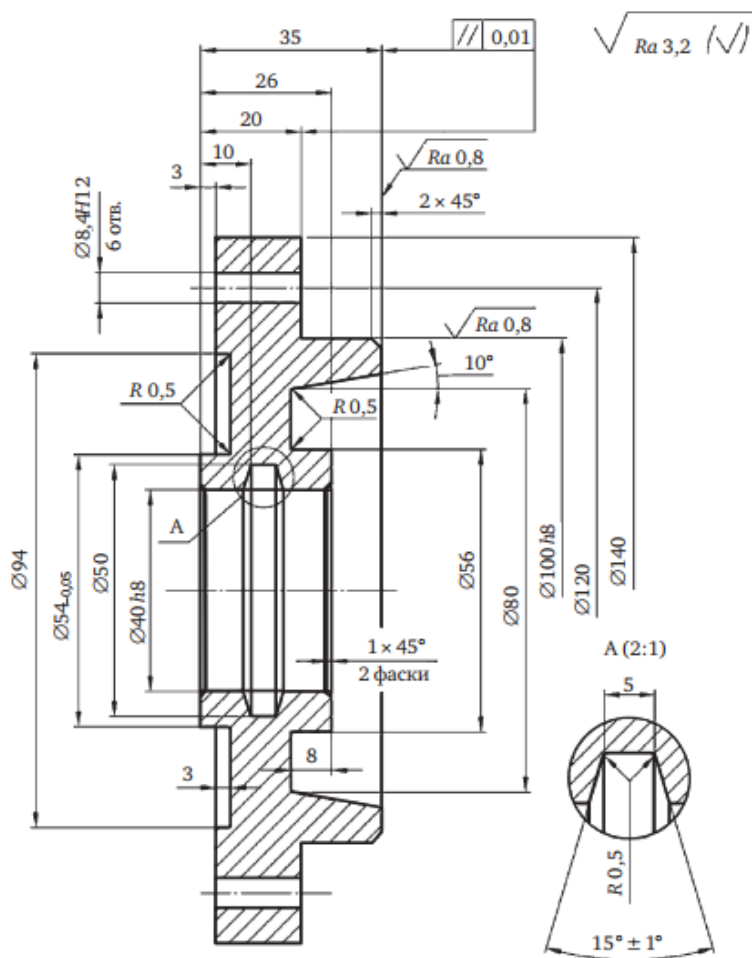
Варіанти завдань для завдання № 1

Номер варіанту	К-ть поверхонь деталі	К-ть уніфікованих елементів	Маса, кг		Трудомісткість, хв.		Собівартість, грн.		Середній квалітет точності	Середня шорсткість, мкм
			деталі	заготовки	деталі	заготовки	деталі	заготовки		
1	19	12	0,8	1,1	28	31	170	210	8	0,63
2	15	8	0,8	1,6	14	10	150	180	6,9	3,5
3	28	17	1,3	1,4	16	24	90	130	9,5	3,2
4	33	25	3,1	3,8	78	86	340	410	7,3	1,1
5	41	27	12	14	31	39	220	344	6,8	0,4
6	55	40	4,8	5,5	68	89	480	530	7,9	0,5
7	36	29	3,9	4,8	88	96	370	480	6,3	2,1
8	18	27	7,3	8,4	65	74	900	110	7,5	2,2
9	15	14	7,8	8,1	218	310	270	410	9	0,93
10	35	20	9,8	15,5	98	189	680	590	11,9	9,5



1. H14, h14, $\pm IT14/2$

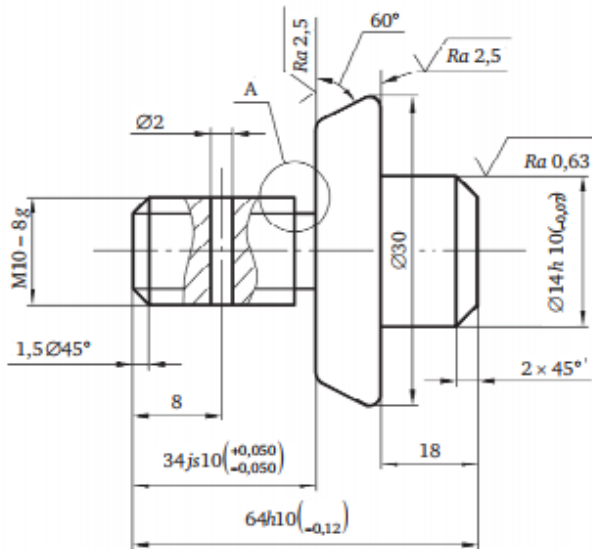
Рис. 3.4. Корпус



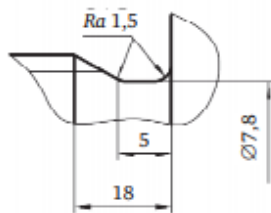
1. H11, h11, $\pm IT11/2$

Рис. 3.5. Кришка

$\sqrt{Ra 3,2}$ (✓)

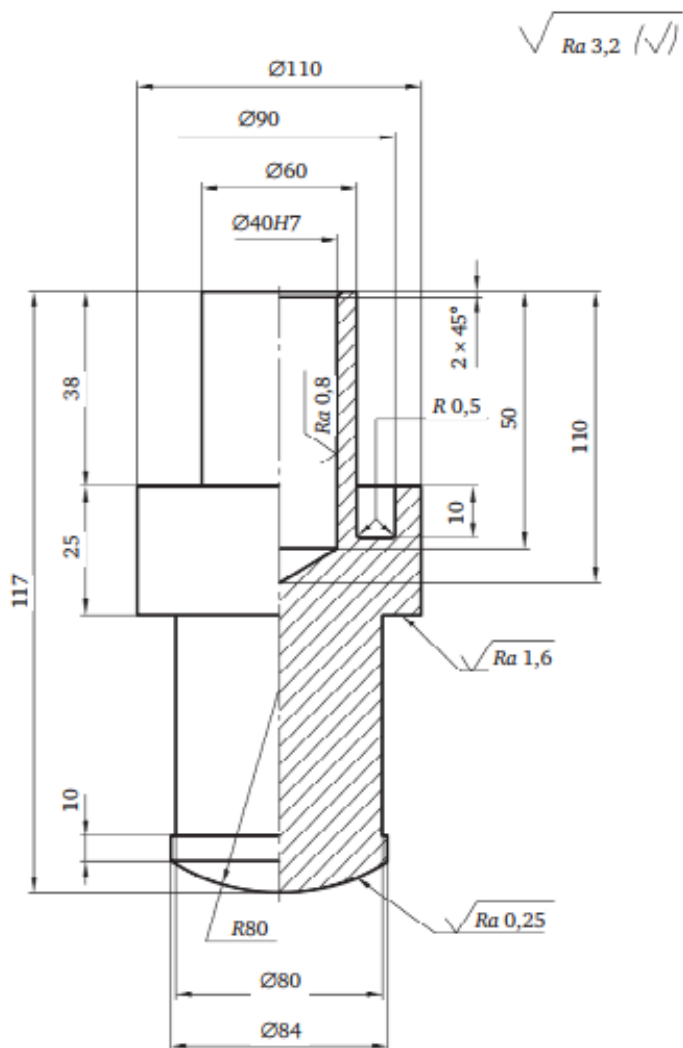


A (4:1)



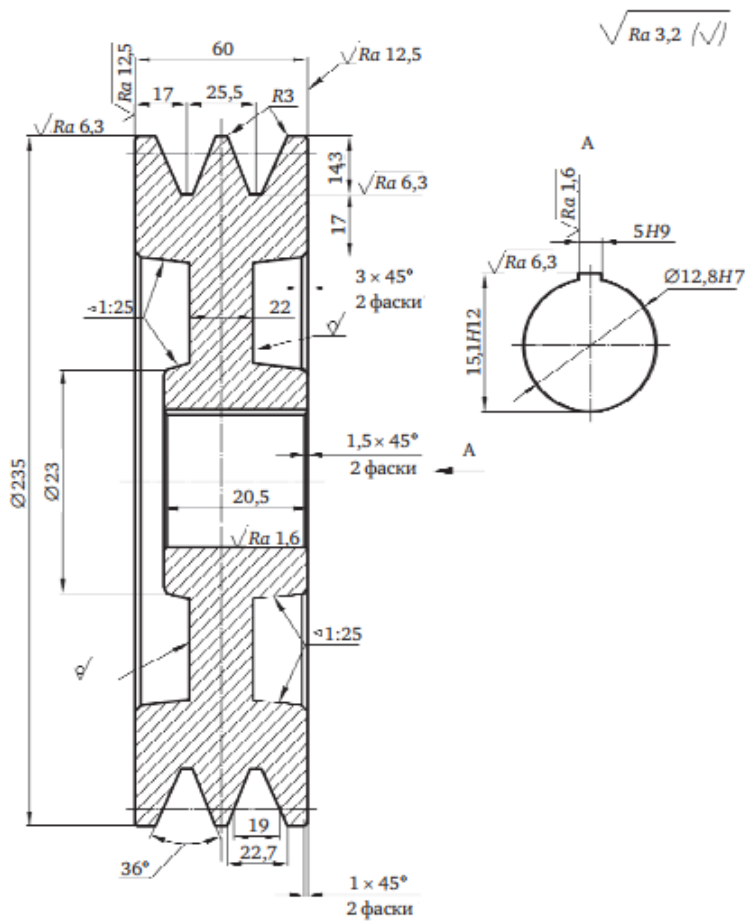
1. H14, h14, $\pm IT14/2$

Рис. 3.6. Упор



1. H12, h12, ±IT12/2

Рис. 3.7. Буфер



1.H14,h14, ±IT14/2

Рис. 3.9. Шків

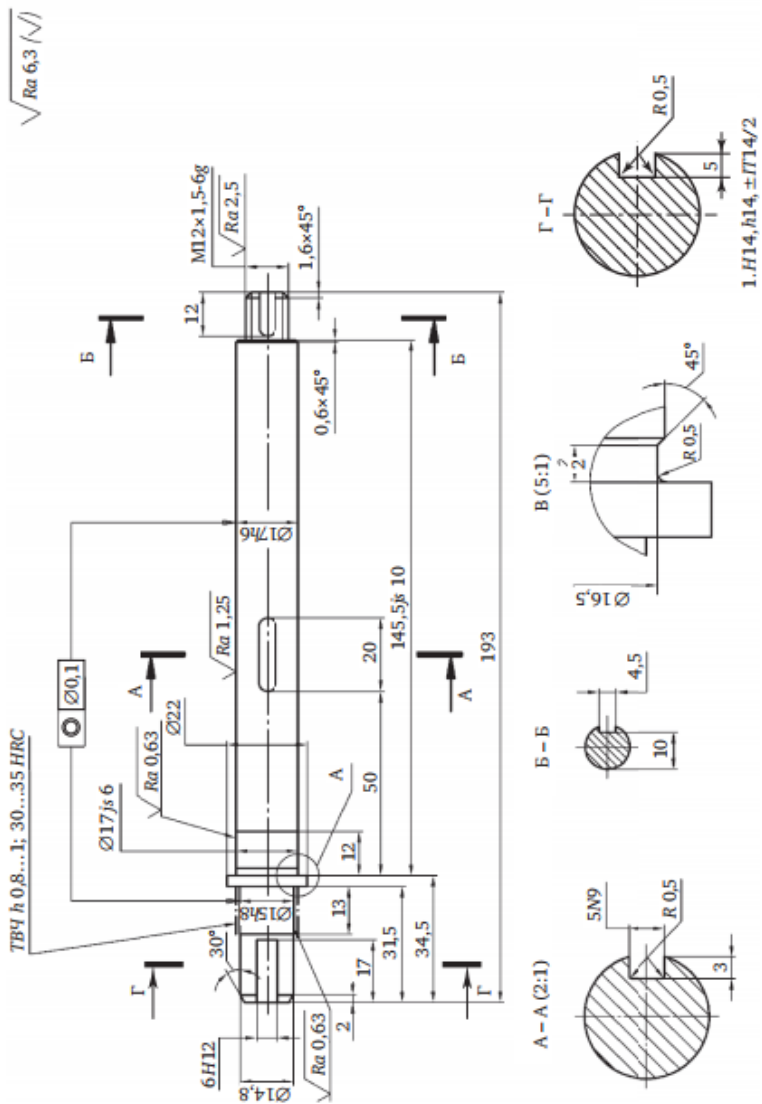
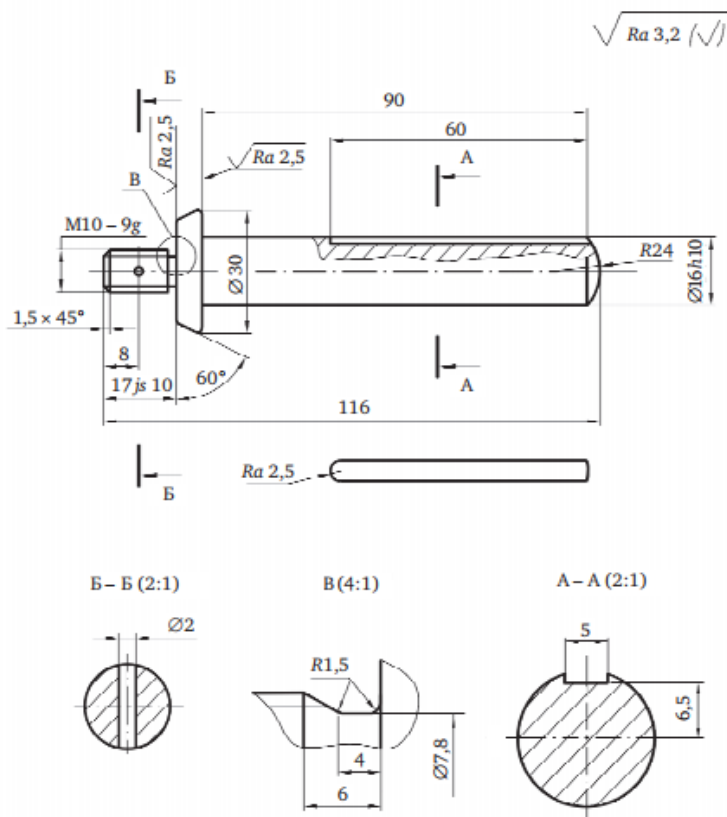


Рис. 3.10. Вал



1. H14, h14, $\pm IT14/2$

Рис. 3.11. Шток

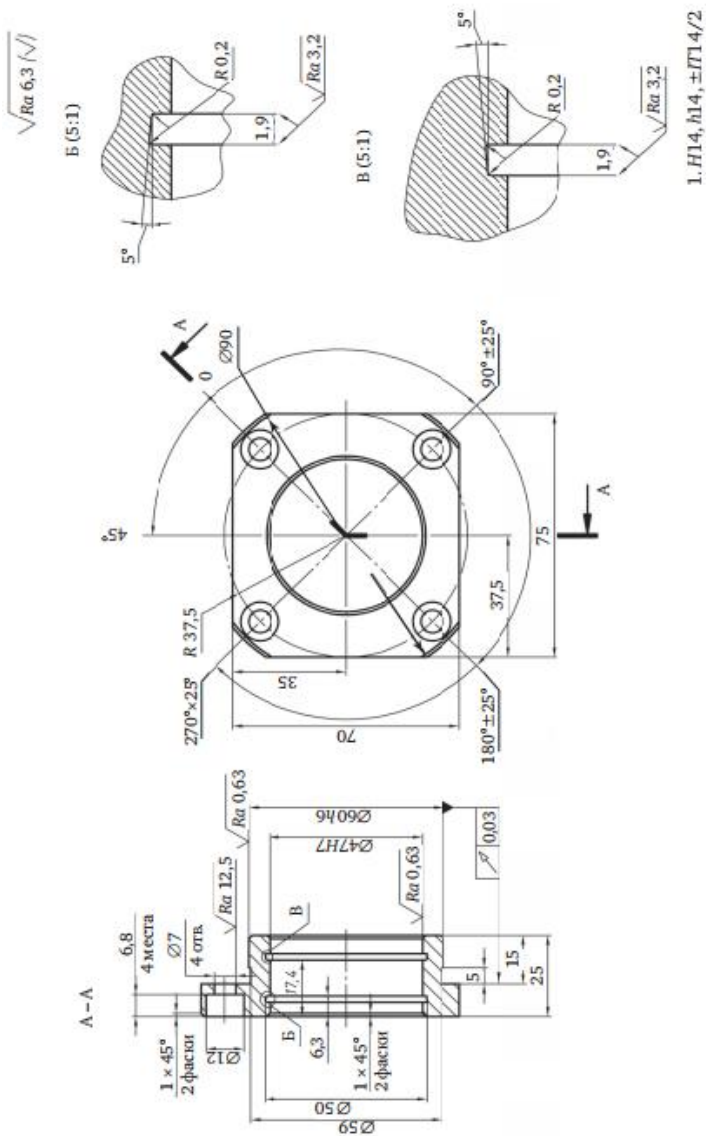


Рис. 3.12. Стакан

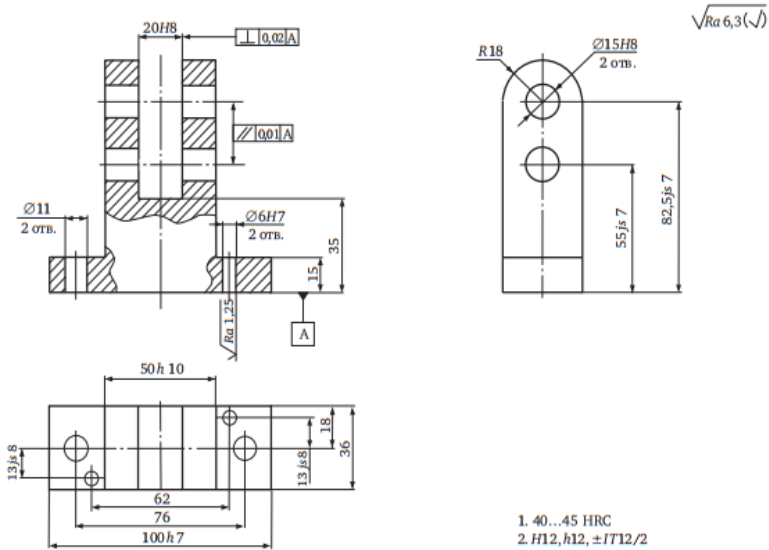


Рис. 3.14. Ложмент

3.4. Порядок виконання та звітування

Звіт повинен включати:

- 1) ескіз деталі;
- 2) кількісне оцінювання технологічності;
- 3) висновки та рекомендації щодо покращення технологічності виробу.

Практичне заняття № 4

Тема: Збирання вузлів та агрегатів

4.1. Теоретичні відомості

Збирання – це завершальний етап виробництва, що забезпечує отримання кінцевої продукції із заданими технічними якостями. Порівнюючи три стадії виробництва між собою, на перший погляд видається, що збирання виробу найбільш простий етап. Тут не потрібно обладнання, що реалізує великі зусилля і температури, характерні для процесів заготівельного виробництва, великі потужності і широка номенклатура типів обладнання та інструментів механообробки. В принципі, збиральні процеси можна реалізувати за рахунок простих технічних засобів і, відповідно, великої кількості робітників. При цьому якість продукції, що випускається і економічні показники роботи підприємства погіршуються.

Збиральний процес – процесотримання збиральних одиниць (вузлів), виробів, включає також випробування, консервацію, упаковку.

Простий процес – процес, що складається з ряду послідовних операцій виготовлення певного предмета виробництва (виготовлення деталі, зборка вузла, зборка машини і т. п.). *Складний процес* - сукупність координованих в часі простих процесів.

Трудовий процес – процес, здійснюваний за участю людини. *Природний процес* – процес, здійснюваний без участі людини (охолодження відливань, сушка після покриття поверхонь, природне старіння заготівель).

Технологічний процес є складовою частиною виробничого процесу, що містить цілеспрямовану дію на зміну предмета виробництва, – його форми, розміру, зовнішнього вигляду, хімічного складу, агрегатного стану. На базі одного і того ж технологічного процесу можна організувати ряд виробничих процесів, що мають різні організаційно-економічні показники. *Технологічним процесом збирання* називається процес з'єднання деталей у вузли, деталей і вузлів у механізми, деталей, вузлів і

механізмів в машину. Деталі, вузли, механізми називаються збиральними одиницями. Технологічний процес збирання поділяють на операції, переходи, прийоми, встановлення і рухи. *Операцією* називають закінчену частину технологічного процесу, яку виконує на одному робочому місці один робітник або група робітників.

Переходом називають закінчену частину операції, виконувану на одному робочому місці без зміни інструментів, поверхонь з'єднання, режимів роботи.

Прийом – це частина переходу, що складається із простих робочих рухів, які виконує один робітник.

Встановлення - надання відповідного положення деталям. При виконанні цих елементів робітники виконують певні елементарні рухи.

Позиція – фіксоване положення, яке займає пристосування разом із закріпленою збиральною одиницею, яка збирається, щодо інструмента або нерухомої частини обладнання для виконання певної частини операції. *Робочий хід* – це закінчена частина технологічного переходу, яка складається з одноразового переміщення інструмента щодо предмета праці, супроводжуваного зміною форми, розмірів, властивостей предмета праці. *Допоміжний хід* – це закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструменту, відносно предмету праці, що не супроводжується зміною форми, розмірів, властивостей предмета праці, але необхідного для підготовки робочого ходу.

Допоміжний перехід – це закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людини або обладнання, які не супроводжуються зміною форми, розмірів, і особливих властивостей предмета праці, але є необхідним для виконання технологічного переходу. Об'єктами виробництва машинобудівної промисловості являються різні машини.

Машина – це виріб, що здійснює доцільні рухи для перетворення енергії або виконання робіт. У залежності від основного призначення розрізняють два класи машин:

- машини – двигуни;
- робочі машини (машини – знаряддя).

Машини – *двигуни* перетворюють один вид енергії в інший, зручний для використання.

Робочі машини – це машини за допомогою яких виконується змінення форми, властивостей і положення об'єкта праці.

Предмети праці в процесі їх виробництва на машинобудівному підприємстві називаються *виробами*.

Виріб – це предмет або набір предметів виробництва, які виготовляються на підприємстві. Вироби в залежності від їх призначення поділяють на:

- вироби основного виробництва, що призначені для поставки (реалізації);

- вироби допоміжного виробництва, що призначені для власних потреб підприємства. Стандартами встановлено такі види виробів:

- деталь;
- базова деталь;
- складальна одиниця (вузол);
- складальний комплект;
- комплектувальний виріб;
- агрегат.

Деталь – це виріб, виготовлений з однорідного за видом і маркою матеріалу без застосування складальних операцій.

Базова деталь – це деталі з базовими поверхнями, що виконує в з'єднанні (вузлі), роль з'єднувальної ланки, що забезпечує у процесі збирання відповідне відносне положення інших деталей.

Збиральна одиниця – це частина виробу, яка збирається окремо і надалі бере участь у процесі збирання як одне ціле.

Вузол – це збиральна одиниця, яка може збиратися окремо від інших складових частин виробу (або виробу в цілому) і виконувати певну функцію у виробі одного призначення тільки разом з іншими складовими частинами. *Складальний комплект* – це група складових частин виробу, які необхідно подати на робоче місце для збирання виробу або його складової частини.

Комплектувальний виріб – це виріб підприємства-постачальника, застосований як складова частина виробу, який випускає підприємство-виробник.

Агрегат – це складальна одиниця, яка має повну взаємозамінність з можливістю зборки окремо від інших складових частин виробу (або виробу в цілому) і здатністю виконувати певну функцію у виробі або самостійно.

Об'єктами виробництва на машинобудівному підприємстві, крім машинта їх частин, можуть бути комплекси комплектуючих виробів.

Комплекс – це два і більше виробів, які не були з'єднані на підприємстві збиральними операціями, але призначені для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій. Наприклад: автоматична лінія, цех – автомат, верстатз ЧПК з керуючими панелями і т.п.

Комплект – це два і більше виробів, які не були поєднані на підприємстві збиральними операціями і представляють набір виробів, які мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (наприклад, комплекти запасних частин, інструменту та приладів, вимірювальної апаратури, пакувальної тари, тощо).

Вироби в залежності від наявності або відсутності в них складових частин ділять на наступні категорії:

- неспецифіковані (деталі) – не мають складових частин;
- специфіковані (складальні одиниці, комплекси, комплекти), складаються з двох і більше складових частин.

Заключним етапом у виготовленні виробу є збирання.

Збирання – це процес утворення роз'ємних або нероз'ємних з'єднань складових частин або виробу в цілому. Збирання поділяють на вузлове і загальне.

Вузлове збирання – це процес, об'єктом якого є складова частина виробу. *Загальне складання* – це процес, об'єктом якого є виріб в цілому. По стадіях процес збирання поділяється на такі види:

1) попереднє збирання – збирання заготовок, складових частин або виробу в цілому, які в подальшому підлягають розбиранню (наприклад, попереднє збирання вузла з метою визначення розміру нерухомого компенсатора);

2) проміжне збирання – збирання заготовок, виконане для подальшої їх спільної обробки (наприклад, попереднє збирання

корпусу редуктора з кришкою для подальшої спільної обробки отворів підшипників);

3) збирання під зварювання – збирання заготовок для їх подальшого зварювання;

4) остаточне складання – складання виробу або його складової частини, після якої не передбачене його подальше розбирання під час виготовлення. Після остаточного збирання для деяких виробів може застосовуватись демонтаж, до складу якого входять роботи по частковому розбиранню зібраного виробу з метою підготовки його до упаковки та транспортування до споживача (наприклад, збирання великих парових і гідравлічних турбін).

За методом утворення з'єднань процес збирання поділяється на – слюсарне збирання – збирання виробу або його складової частини за допомогою слюсарно-складальних операцій;

- монтаж – установку виробу або його складових частин на місці використання (монтаж верстата з ЧПУ на підприємстві-споживачі);

- електромонтаж – монтаж електровиробів або їх складових частин, які мають струмопровідні елементи;

- зварювання, паяння, клебку і склеювання.

Зміст робіт, пов'язаних з виконанням збиральних операцій залежить від типу виробництва. Тип збирального виробництва (одиничне, серійне, масове) має великий вплив на технологію і організацію процесу збирання в машинобудуванні.

Одиничне і дрібносерійне виробництво характеризується:

- великою номенклатурою виробів;

- відсутністю усталеної технології збирання;

- широким використанням універсального обладнання і інструментів;

- наявністю висококваліфікованих робітників;

- великим обсягом припасувальних робіт.

В багатосерійному виробництві обсяг робіт по збиранню поділяється на складові частини, виділяється вузлова і загальна зборка. Значно зменшується обсяг припасувальних робіт. Вироби збирають серіями, повторюючи через певні проміжки часу.

У масовому виробництві збирання однойменних виробів ведеться постійно. Є чіткий поділ на вузлове і загальне збирання.

У складі технологічного процесу збирання виробу в загальному вигляді виділяють наступні основні види робіт:

- підготовчі роботи;
- припасувальні;
- власне складальні;
- регульовальні;
- контрольні;
- заправні роботи (змащення,консервування т.д.);
- демонтажні.

Побудова технологічної схеми збирання є необхідним кроком, щопередує розробленню технологічного процесу збирання. Вона являє собою графічне зображення послідовності приєднання до базового виробу (деталі) інших деталей і складальних одиниць до перетворення базового виробу у готовий виріб. З метою спрощення побудови схеми збирання доцільно провести попереднє розбиття виробу на вузли, підвузли, складальні одиниці та деталі (рис. 4.1).

У загальному вигляді схема складання показана на рис. 4.2. Індексація елементів машини здійснюється відповідно до номерів, проставлених на складальних кресленнях і в специфікаціях. Елемент, з якого починається збирання, називається базовим. В якості базових деталей зазвичай приймаються вироби, які дозволяють виконати відносно велику кількість з'єднань без переустановки. Однак, у тих випадках, коли явна базова деталь в складальній одиниці відсутня, необхідно розробити кілька маршрутів збирання і подальше проектування вести для кожного варіанту. Число варіантів, взятих для опрацювання, можна скоротити, якщо керуватися двома ознаками вибору оптимального маршруту збирання:

- кращим є той маршрут, який забезпечує мінімальну кількість зміни баз виробу;
- маршрут повинен забезпечувати зручність установки деталей і можливість контролю якості виконаних з'єднань.



Рис. 4.1. Схема розбирання збирання машини

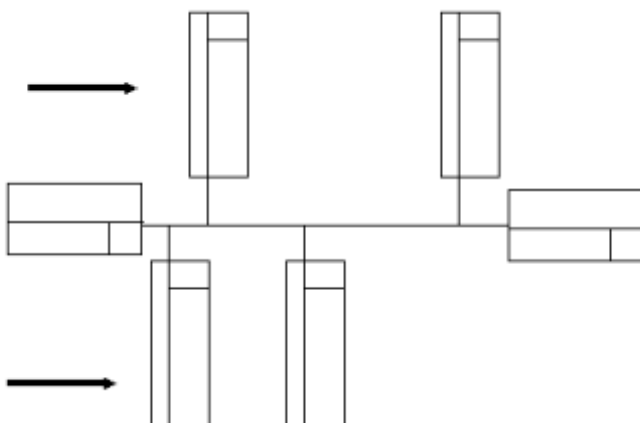


Рис. 4.2. Приклад оформлення технологічної схеми складання

Процес комплектування об'єкту збирання зображується горизонтальною прямою лінією. Її проводять у напрямку від базового елемента виробу дозібраного об'єкта. Зверху умовно зображуються в порядку послідовності збирання всі деталі, що безпосередньо входять у виріб, а знизу вузли. На технологічних схемах вузлового збирання ці вузли розчленовуються напідвузли і деталі. При цьому складальні одиниці 1-го порядку (ті, що входять безпосередньо в машину), а також інших порядків можуть бути подані у вигляді своїх схем збирання. Технологічні схеми збирання пояснюють надписами – зносками, що розкривають характер робіт (установити, запресувати, приварити загвинтити, перевірити зазори і т. п. Додаткові роботи, до яких можна віднести часткове або повне розбирання складових частин під час збирання машини, також відображують на схемі пояснювальним надписом. Рекомендований порядок заповнення граф, які позначають деталі і складальні одиниці показано на рис. 4.3.

Найменування виробу	
Позиція за специфікацією	Кількість

Рис. 4.3. Заповнення граф елемента схеми зирання виробу

4.2. Приклад виконання завдання

Для збиральної одиниці (рис. 4.4) розробити технологічну схему збирання і маршрутний технологічний процес збирання.

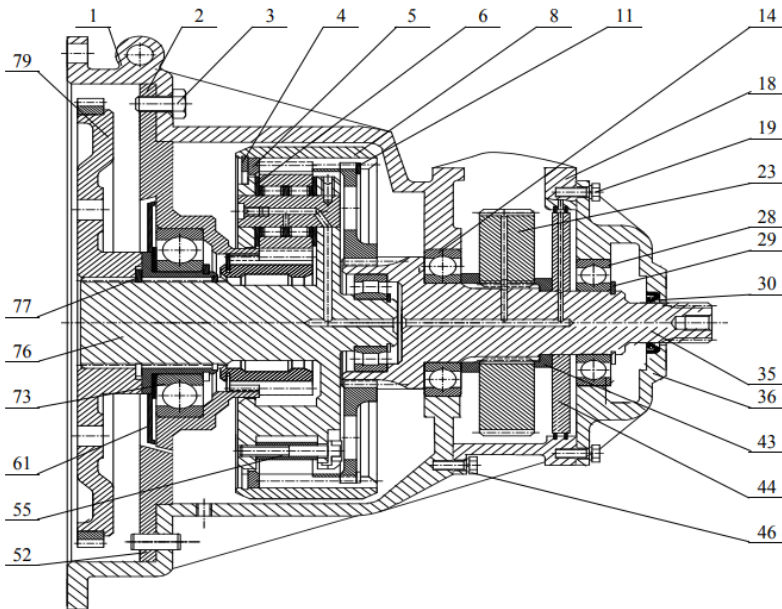


Рис. 4.4. Редуктор

У конструкції редуктора є три корпусні деталі 1, 18, 36, які зручно приймати у якості базових, розбиваючи загальний процес збирання на декілька етапів.

Варіант технологічної схеми збирання редуктора подано на рис. 4.6. Маршрутний технологічний процес збирання наведено в таблиці 4.1.

Розробку маршруту починають з аналізу конструкції виробу. З цією метою викреслюється схема з ескізами деталей виробу у послідовності їхнього встановлення (рис. 4.5).

Так, наприклад, сторони редуктора, відносно яких проводиться встановлення деталей, позначено на схемі літерами А, Б, В, Г. Нумерація деталей з кожного боку направлення збирання починається з одиниці. Так, стосовно конструкції, поданої на рис. 4.4, з боку «А» встановлюється 32 деталі і зібраних одиниць з номерами А1-А32, з боку «Б» – 17 штук, з номерами Б1 – Б17, з боку «В» – 10 штук і з боку «Г» – шість.

Використовуючи дане кодування, складається таблиця, у якій зазначаються напрямки сторін, номери деталей та зібраних одиниць і найменування переходів, потрібних при збиранні. (табл. 4.1).

У прикладі наведемо лише частину деталей і зібраних одиниць редуктора. Повний перелік, який потрібно виконати, потребує зображення 32 стовбців (найбільша кількість з боку «А» згідно схеми на рис. 4.5).

У табл. 4.1 перетин строк А, Б та т.п. зі стовбцями 1, 2, т.д. дають ячейку з номером коду відповідної деталі або зібраної одиниці згідно схеми. У самій ячейці зазначено збиральні переходи (наприклад: *a*, *b*), які потрібно виконати для даної деталі.

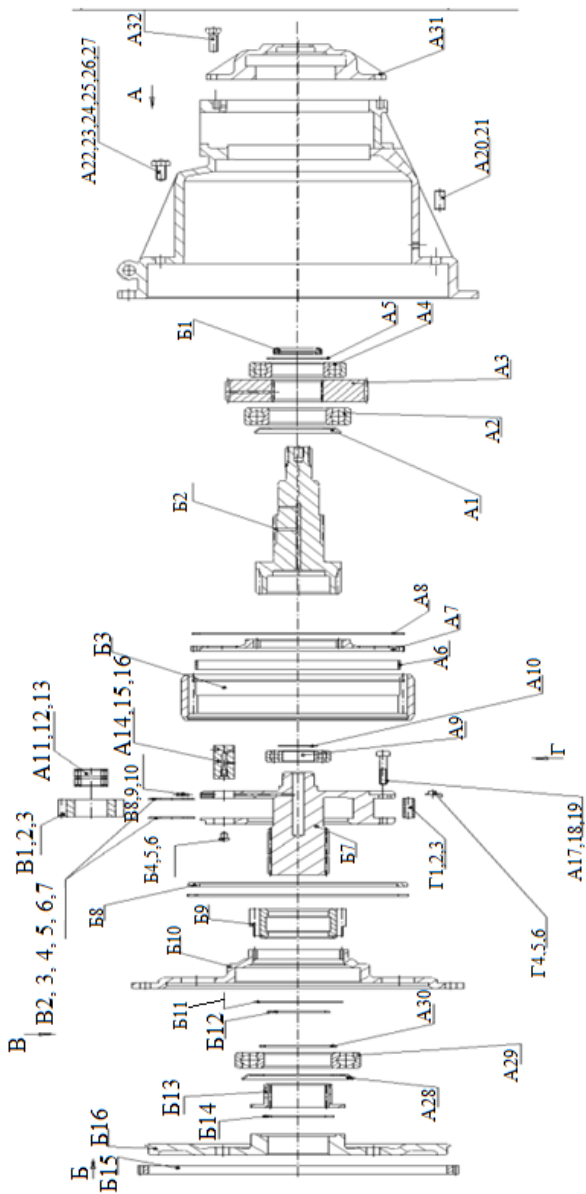


Рис. 4.5. Схема збирання редуктора

Таблиця 4.1

Маршрутний технологічний процес збирання маточини

Напрямок збирання	Перехід	Номери позицій на схемі збирання				
		1	2	3	4	5
А	а	Встановити	Змастити	Встановити	Змастити	Встановити
	б		Запресувати		Запресувати	
Б	а	Змастити				
	б	Встановити				
В	а	Встановити	Встановити	Встановити	Встановити	Встановити
Г	а	Змастити				
	б	Запресувати	Запресувати	Запресувати	Встановити	Встановити

4.3. Завдання для самостійної роботи**Завдання № 1**

Для заданого виробу (рис. 4.7) розробити технологічну схему та маршрут збирання

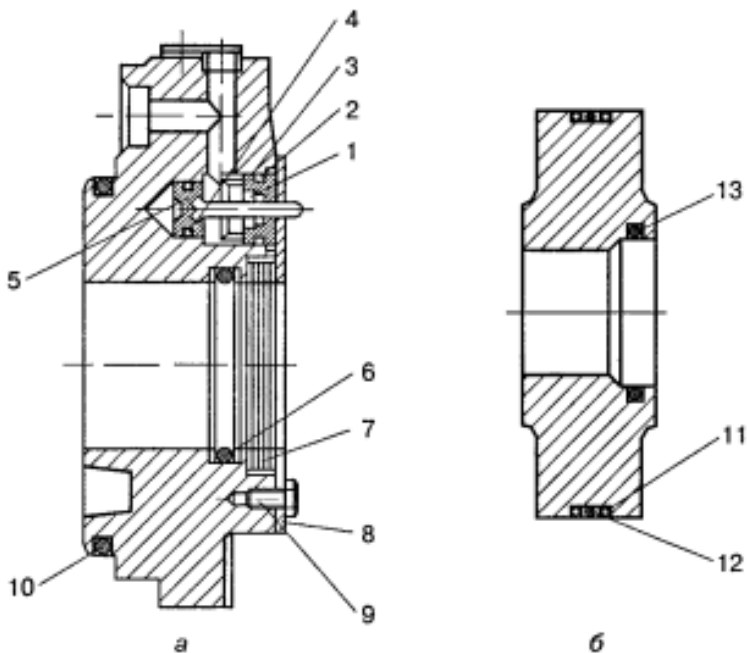


Рис. 4.7. Кришка (а), поршень (б) гідравличного циліндру:
 1 – втулка, 2, 4, 6, 10, 12, 13 – кільце ущільнююче; 3 – корпус клапана;
 5 – клапан; 7 – чістікі (20 шт.); 8 – кришка; 9 – гвинт (6 шт.);
 11 – прокладка ущільнююча (2 шт.)

Завдання № 2

Для заданого виробу (рис. 4.8) розробити технологічну схему та маршрут збирання

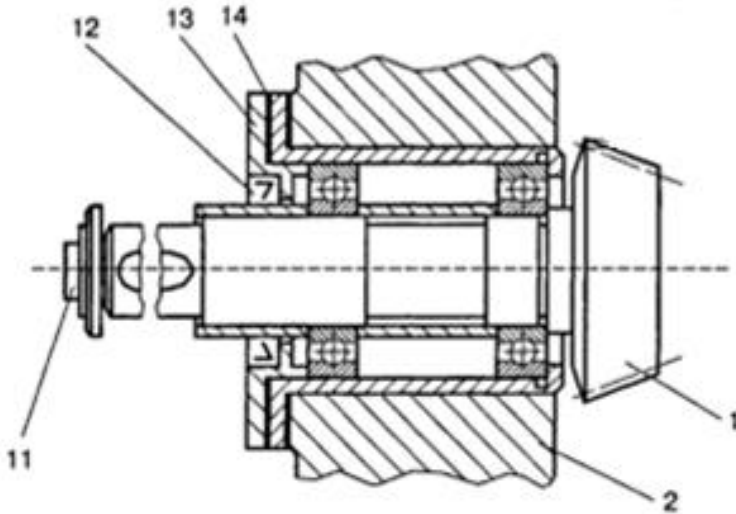


Рис. 4.8. Збиральна одиниця: 1 – вал – шестерня; 2 – корпус;
3 – стакан; 4 – підшипник (2 шт.); 5, 7 – втулка; 6 – прокладка;
8 – шпонка; 9 – шайба; 10 – шайба стопорна; 11 – болт;
12 – ущільнення; 13 – кришка; 14 – прокладка

Завдання № 3

Для заданого виробу (рис. 4.9) розробити технологічну схему та маршрут збирання

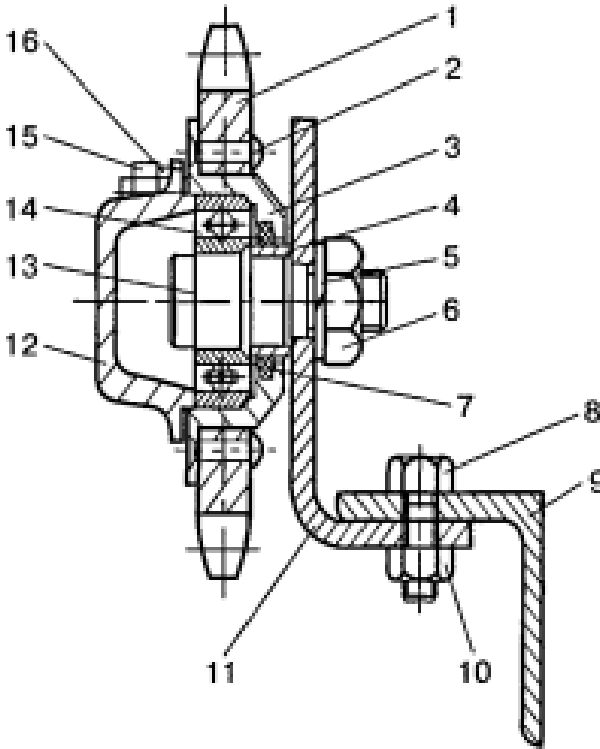


Рис. 4.9. Збиральна одиниця до завдання № 3: 1 – зірочка;
2 – заклепка (6 шт.); 3 – маточина; 4 – втулка; 5 – шайба пружинна;
7 – ущільнення; 8 – болт (2 шт.); 9 – кутник; 10 – гайка (2 шт.);
11 – кронштейн; 12 – кришка; 13 – вісь; 14 – підшипник; 15 – болт
(6 шт.); 16 – шайба пружинна (6 шт.)

Завдання № 4

Для заданого виробу (рис. 4.10) розробити технологічну схему та маршрут збирання

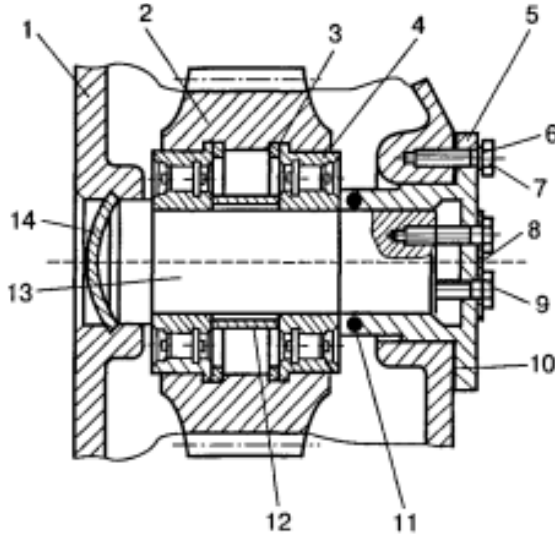


Рис. 4.10. Збиральна одиниця для завдання № 4: 1 – корпус; 2 – колесо зубчасте; 3 – кільце (2 шт.); 4 – підшипник (2 шт.); 5 – фланець; 6 – шайба пружинна (6 шт.); 7 – болт (6 шт.); 8 – планка стопорна; 9 – болт (3 шт.); 10 – прокладка; 11, 12 – ущільнення; 13 – вал; 14 – кришка

4.4. Порядок виконання та звітування

Звіт повинен включати:

- 1) ескіз збиральної одиниці;
- 2) технологічну схему збирання;
- 3) маршрут збирання.

За даною темою виконується курсовий проект. Нижче розглянемо порядок і приклад виконання курсового проекту.

Курсовий проект

Тема: Розробка технологічного процесу збирання

Об'єм технологічної частини курсового проекту складає:

- два листа графічних робіт формату А 1;
- розділ пояснюючої записки 20-25 сторінок.

Тематика листів графічної частини:

- 1) лист 1, Ф. А.1 – Схема збирання виробу. Виконується з використанням графічного редактора КОМПАС;
- 2) лист 2, Ф. А.1 – Технологічна схема збирання виробу та маршрут збирання.

Перелік розділів та зміст розділів пояснювальної записки

1. Призначення виробу, опис конструкції, визначення програми випуску

Розробка технологічного процесу збирання починається з аналізу конструкції виробу і визначення потрібної програми випуску.

У даному розділі потрібно: дати характеристику виробу, відзначити його призначення, технічні параметри і основні вимоги, що пред'являються до даної конструкції. Потрібно: зазначити масу виробу, його габаритні розміри, кількість деталей і збиральних одиниць.

Потрібно описати конструктивні особливості і принцип роботи виробу.

З цією метою:

- 1) наводиться рисунок складального креслення заданого виробу (див. приклад на рис. 1.1);
- 2) використовуючи номери позицій специфікації описати роботу збиральної одиниці.

Визначіть потребу у виробах даного типу, окресліть річну програму випуску (за умови якщо вона не задана, обираємо її самостійно).

На рис. 1.1, у якості прикладу, наведена конструкція узгоджувачого редуктора трактора, який призначено для узгодження параметрів двигуна з характеристиками комплексної гідромеханічної передачі, а також для передачі крутного моменту на вал гідрообъемної передачі механізму повороту і на вал відбору потужності. Враховуючі велике різноманіття конструкцій виробів, запропонованих для розгляду в курсовому проекті, опис конструкції узгоджувального редуктора у даному посібнику не приводиться.

Наведемо лише деякі дані. Загальна кількість деталей та збиральних одиниць, що входять у конструкцію узгоджувального редуктора, становить 65 штук. Річну програму випуску з урахуванням потрібного запасу для виробництва і для ремонтних робіт встановлюємо 50000 шт./рік.

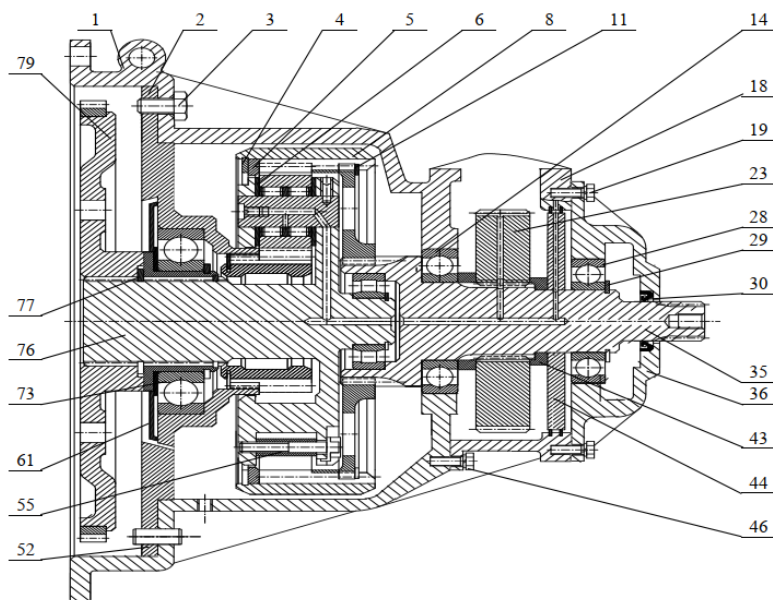


Рис. 1.1. Редуктор узгоджувачий

2. Вибір типу і методу виробництва, розрахунок такту випуску

Тип виробництва (одиничне, серійне, масове) і метод виробництва (непоточне, поточне) визначають характер обладнання і спосіб організації робіт.

Тип виробництва визначається на основі коефіцієнту закріплення операцій:

$$K_{зо} = \frac{n_o}{S_{пр}}. \quad (2.1)$$

де n_o – загальна кількість переходів процесу збирання (орієнтовно приймаємо рівну кількості деталей і збиральних одиниць, які входять до складу виробу);

$S_{пр}$ – прийнята кількість робочих місць (верстаків, стендів, позицій або обладнання для збирання).

Кількість деталей і збиральних одиниць n_o визначають з використанням креслення виробу або на основі специфікації

Кількість робочих місць $S_{пр}$ залежить від декількох факторів: потрібного такту випуску виробу; загальної кількості переходів і часу їхнього виконання; кількості переходів, які виконуються автоматично; кількості переходів, які виконуються одночасно (концентрація операцій). Значення даних факторів визначають із різною точністю. На попередньому етапі розрахункова кількість робочих місць S_p наближено визначають:

$$S_p = \frac{t_{сер} n_o}{\tau}, \quad (2.2)$$

де S_p – розрахункова кількість робочих місць, шт.;

$t_{сер}$ – середній час на виконання одного переходу збирання, тобто час на встановлення однієї деталі або збиральної одиниці, хв/шт.;

τ – такт випуску виробу, хв/шт.

Середній час на виконання одного переходу визначають одним з наступних способів:

1. На основі нормативів. З цією метою складається перелік потрібних прийомів. Далі, на основі нормативів, визначається час на їхнє виконання, $t_{\text{пр}}$. У наслідок сумування розраховується час на виконання кожного переходу та загальний час на збирання виробу. Розділивши цей час на число переходів, визначають величину $t_{\text{сер}}$:

$$t_{\text{сер}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_o} \sum_{i=1}^l t_{\text{пр}}}{n_o} \text{хв/шт.}, \quad (2.3)$$

де l – кількість прийомів в j -му переході.

2. На основі хронометражу робочого місця (лише для діючого виробництва). З цією метою час визначають секундоміром. Розділивши цей час на число переходів, визначають шукану величину $t_{\text{сер}}$.

3. Наближено для авто та тракторних виробництв значення $t_{\text{сер}}$ можна прийняти в діапазоні 0,1-0,5 хв/шт. Менше значення рекомендовано приймати для виробів незначного розміру.

Такт випуску визначається:

$$\tau = \frac{60\Phi_{\text{до}}}{N} \text{хв/шт.}, \quad (2.4)$$

де $\Phi_{\text{до}}$ – річний дійсний фонд часу роботи обладнання, при двохзмінній роботі обладнання приймаємо 4000 год/рік;

N – задана програма випуску, шт./рік.

Прийняту кількість робочих місць $S_{\text{пр}}$ отримують заокругленням S_p у більшу сторону до цілого значення. На більш пізніх етапах розробки технологічного процесу збирання величину K_{30} можна уточнити.

Орієнтовно тип виробництва можна визначити з використанням таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Залежність типу виробництва від K_{30}

K_{30}	Тип виробництва
$0 < K_{30} \leq 10$	Масове
$10 < K_{30} \leq 20$	Великосерійне
$20 < K_{30} \leq 30$	Середньосерійне
$30 < K_{30} \leq 40$	Дрібносерійне

Розглянемо задачу вибору типу виробництва на прикладі узгоджувального редуктора.

Такт випуску редуктора за умови, що програма випуску $N=50000$ шт./рік і двохзмінній роботі:

$$\tau = \frac{60\Phi_{до}}{N} = \frac{60 \cdot 4000}{50000} 4,8 \text{ хв/шт.}$$

Приймаємо $t_{сер} = 0,25$ хв/шт. (узгожуючий редуктор – виріб середньої складності, середнього розміру). Розраховуємо кількість робочих місць, S_p :

$$S_p = \frac{t_{сер} n_o}{\tau} = \frac{0,25 \cdot 65}{4,8} = 3,39 \text{ шт.}$$

Звідки прийнята кількість робочих місць $S_{пр}=4$ шт. і коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{30} = \frac{n_o}{S_{пр}} = \frac{65}{4} = 16,25.$$

Згідно табл. 2.1, для отриманого значення K_{30} , визначаємо тип виробництва – великосерійне. Для даного типу виробництва за умови декількох робочих місць (тут їх чотири) потрібно застосовувати поточний метод.

Висновок:

тип виробництва – великосерійне;

метод виробництва – поточний;

такт випуску – 4,8 хв/шт.

3. Розробка маршруту збирання виробу

Маршрут – це послідовність, у якій деталі і збірні одиниці більш низького рівня з'єднуються під час збирання.

Маршрут збирання має значний вплив на компонування обладнання, на можливість автоматизації окремих переходів, на здійснення потрібного контролю точності зєднань і , таким чином, на ефективність процесу вцілому.

Перша деталь або збиральна одиниця, з якої починається процес збирання, називається базовою. У якості базових деталей зазвичай приймають вироби, які дозволяють виконати відносно велику кількість зєднань без їхнього переустановлення. У якості таких виробів використовують корпусні деталі, вали, диски, тощо. Але, у тих випадках, коли явно базова деталь відсутня, потрібно сформулювати декілька маршрутів збирання. Вибір оптимального варіанту збирання – складна задача.

У конструкції редуктора є три корпусні деталі 1, 18, 36, які зручно використовувати у якості базових.

Під час розробки маршруту збирання, а також для кращого його подання, зручно користуватись графічною схемою, в якій присутня інформація про деталі та послідовність їхнього встановлення у виробі. Деталь в схемі зручно зображувати у вигляді прямокутника, в довільному масштабі, в якому зазначають її найменування, номер згідно креслення і кількість.

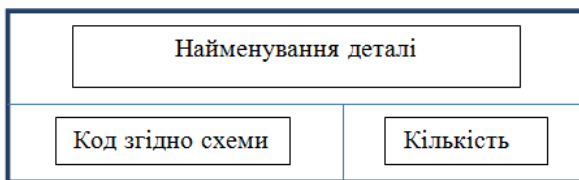


Рис. 3.1. Найменування деталі

Можна також додавати додаткову інформацію про матеріал деталі, її масу, розміри, тощо.

Розробка маршруту починається з аналізу конструкції виробу. З цією метою викреслюється схема з ескізами деталей виробу у послідовності встановлення (рис. 3.2).

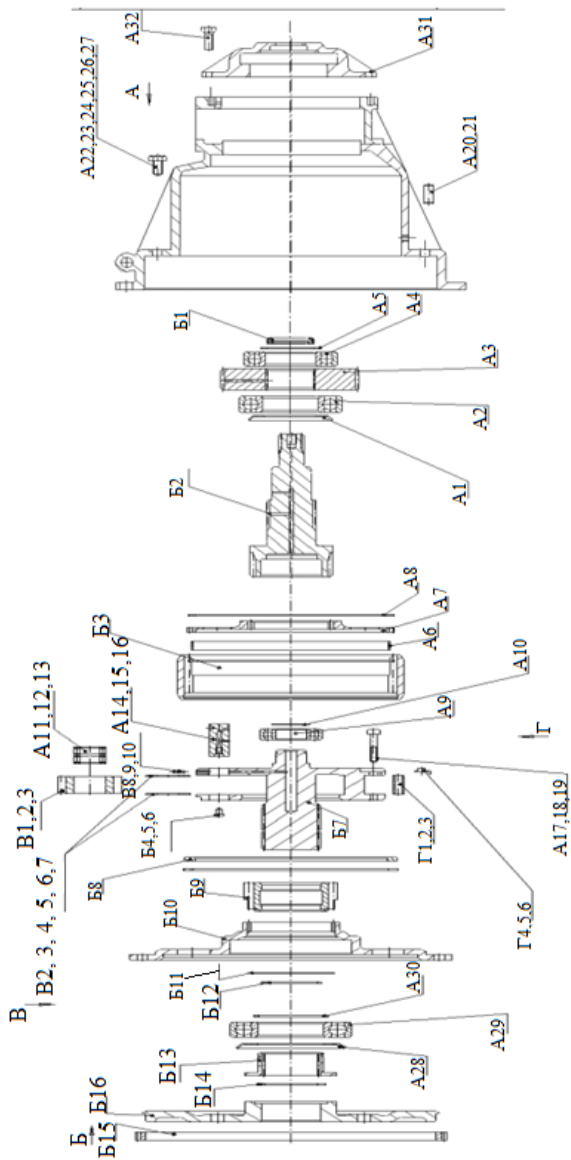


Рис. 3.2. Схема з ескізами деталей виробу у послідовності встановлення

Так, наприклад, сторони редуктора, відносно яких проводиться встановлення деталей, позначено на схемі літерами А, Б, В, Г. Нумерація деталей з кожного боку направлення збирання починається з одиниці. Так, стосовно конструкції, поданої на рис. 4.4, з боку «А» встановлюється 32 деталі і зібраних одиниць з номерами А1-А32, з боку «Б» – 17 штук, з номерами Б1 – Б17, з боку «В» – 10 штук і з боку «Г» – шість.

Використовуючи дане кодування, складається таблиця, у якій зазначаються напрямки сторін, номери деталей та зібраних одиниць і найменування переходів, потрібних при збиранні (табл. 3.1).

У прикладі наведемо лише частину деталей і зібраних одиниць редуктора. Повний перелік, який потрібно виконати, потребує зображення 32 стовбців (найбільша кількість з боку «А» згідно схеми на рис. 3.1).

У табл. 3.1 перетин строк А, Б та т.п. зі стовбцями 1, 2, т.д. дають ячейку з номером коду відповідної деталі або зібраної одиниці згідно схеми. У самій ячейці зазначено збиральні переходи (наприклад: а, б), які потрібно виконати для даної деталі.

Таблиця 3.1

Маршрутний технологічний процес збирання маточини

Напрямок збирання	Перехід	Номери позицій на схемі збирання				
		1	2	3	4	5
А	а	Встановити	Змастити	Встановити	Змастити	Встановити
	б		Запресувати		Запресувати	
Б	а	Змастити				
	б	Встановити				
В	а	Встановити	Встановити	Встановити	Встановити	Встановити
	б	Змастити				
Г	а	Змастити				
	б	Запресувати	Запресувати	Запресувати	Встановити	Встановити

Тоді формується графічна схема маршруту збирання, приклад якої наведено на рис. 3.3.

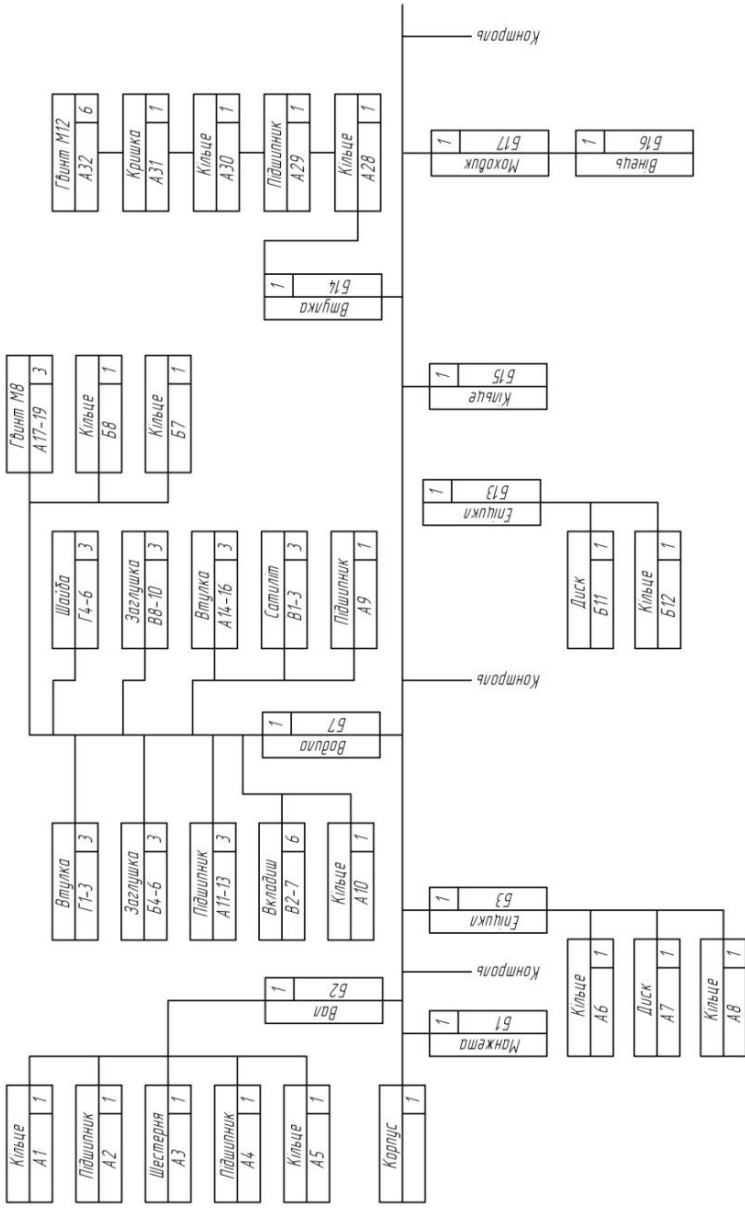


Рис. 3.3. Технологічна схема збирання

Подані на рис. 3.1 схема збирання виробу, табл. 3.1 технологічних переходів і графічна схема маршруту збирання (рис. 3.2) оформлюються на листах формату А.1.

4. Вибір методів збирання

Важним параметром якості збірного з'єднання є точність. Точність з'єднання забезпечується конструктором, який повинен задати потрібні значення розмірів спряжених деталей. Відомими є наступні види збирання залежно від потрібної точності:

- повна взаємозамінюваність;
- неповнавзаємозамінюваність;
- групова взаємозамінюваність;
- компенсація та пригонка.

У загальному випадку, під час виконання з'єднань під час збирання конкретного виробу, можуть використовуватись різні поєднання методів.

Збирання виробів методом повної взаємозамінюваності здійснюється без попереднього контролю розмірів деталей, їхнього підбору або спеціальної підготовки. Особливістю методу є те, що отримані з'єднання відповідають заданим параметрам точності і, не вимагає контролю. З точки зору організації збирального виробництва метод повної взаємозамінюваності простий і ефективний, особливо в умовах автоматизованого виробництва. У той же час метод потребує високої точності розмірів деталей. Розглянемо особливості методу на прикладі рис. 4.1.

Допустимо, потрібно отримати з'єднання з двох деталей по циліндричним поверхням з посадкою $\varnothing 40 \text{ H}7/h7$. Схема допусків такого з'єднання наведена на рис. 4.1.

На рис. 4.1 використано наступні позначення:

(0-0) – нульова лінія – номінальний розмір збірного з'єднання. У даному випадку 40 мм;

H7 – поле допуску на розмір отвору 7-го квалітету точності;

h7 – поле допуску на розмір валу 7-го квалітету точності;

δ_0 – величина допуску на розмір отвору;

$\delta_{\text{в}}$ – величина допуску на розмір валу;

Z_{max} – максимальний зазор у з'єднанні.

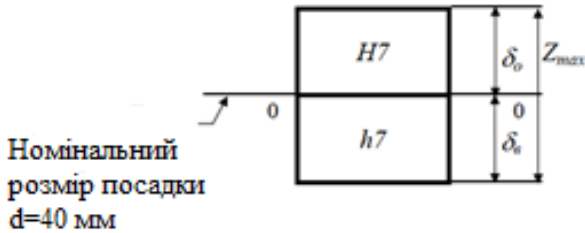


Рис. 4.1. Характер посадки та задана точність зеднання

З розгляду рис. 4.1 видно, що потрібна точність зеднання регламентується двома параметрами: номінальним діаметром (нульова лінія) і величиною зазору Z , який повинен знаходитись у діапазоні значень $Z_{min} \leq Z \leq Z_{max}$.

За табл. 4.1 знаходимо: $\delta_0 = \delta_v = 0,025$. Найменший зазор посадки, $Z_{min} = 0$, найбільший зазор $Z_{max} = 0,05$.

Для реалізації методу потрібно, щоб розміри деталей, які утворюють зеднання, знаходились у строгій відповідності з заданим кресленням. У прикладі розміри отворів реальних деталей повинні бути в межах $\varnothing 40 \div \varnothing 40,25$, а розміри валів у межах $\varnothing 39,075 \div \varnothing 40$. При цьому номінальний діаметр зеднання буде мати величину $\varnothing 40$ мм, а зазор у з'єднанні Z_i буде знаходитись у діапазоні значень $0 \leq Z_i \leq 0,05$.

Витрати на виготовлення деталей залежать від вимог до точності розмірів і взаємного розташування. Чим вищі вимоги до точності, тим більші витрати. Особливо різко витрати зростають за умови вимог точності починаючи з сьомого квалітету й вище. Враховуючи вище зазначене, метод повної взаємозамінювасті рекомендовано застосовувати для з'єднань, що утворюються двома деталями точність розмірів яких визначається не нижче ніж сьомим квалітетом.

Неповна взаємозамінюваність. Даний метод здійснюється без попереднього контролю розмірів деталей, їхнього підбору або спеціальної підготовки. Відмінність від попереднього методу в тому, що метод неповної взаємозамінюваності дозволяє отримати потрібну точність з'єднання при меншій точності розмірів деталей. Це досягається за рахунок того, що

під час збирання наперед обумовлюється що частина продукції не буде відповідати заданим значенням точності. Дана умова вимагає обовязкового контролю всіх з'єднань. Уяву про даний метод можна отримати з рис. 4.2. Як видно з рис. 4.2 потрібна точність з'єднання задана полями допусків $H7/h7$ з розмірами допусків δ_0 і δ_B . Деталі, які поступають на збирання, мають аналогічне розташування полів допусків, але їхня точність відповідає восьмому квалітету $H8/h8$ з допусками δ_{oi} та δ_{vi} . За табл. 3.2 для номінального розміру з'єднання $\varnothing 40$ це відповідає $\delta_{oi} = \delta_{vi} = 39$ мкм. = 0,039 мм. Внаслідок розбіжності між потрібними (0,025) і фактичними (0,039) значеннями допусків можливі випадки, коли на збирання будуть потрапляти деталі з розмірами, що знаходяться в заштрихованих областях. Отримані в цьому випадку вироби будуть бракованими, так як зазор у цих з'єднаннях буде перевищувати допустиму величину Z_{max} .

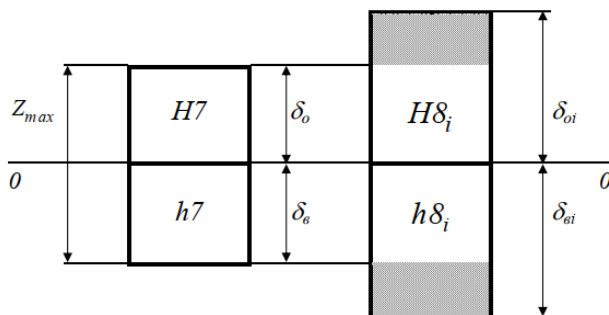


Рис. 4.2. Схема полів допусків за умови неповної взаємозамінюваності

За умови, що на збирання потрапляють деталі, розмір хочаб однієї з яких лежить у заштрихованій області, то можливі ситуації отримання як придатних так й бракованих виробів. Якщо значення зазору Z_i у конкретному з'єднанні знаходиться у діапазоні $0 \leq Z_i \leq 0,05$ – виріб придатний, якщо ні – бракований. Внаслідок контролю браковані вироби знімають з технологічного процесу, розбирають і знову подають на збирання.

Для того, щоб в цих умовах виробництво забезпечувало потрібну програму випуску N , технологічний процес розробляється для розрахункової програми випуску продукції, $N_{розр}$.

$$N_{розр} = N + N_{бр}. \quad (4.1)$$

Неповна взаємозамінність, знижуючи витрати на механічну обробку, ускладнює організацію збирального виробництва, хоча сам процес здійснюється аналогічно методу повної взаємозамінюваності. Область застосування методу неповної взаємозамінюваності: точність з'єднань в межах 5-9 квалітетів; обов'язкова технічна можливість контролю точності з'єднання; відносно велика програма випуску.

Таблиця 4.1

Значення допусків, мкм

Інтервали розмірів, мм	Квалітети точності												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
до 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
3-6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
6-10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
10-18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
18-30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
30-50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
50-80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
80-120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
120-180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
180-250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
250-315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
315-400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
400-500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Метод групової взаємозамінюваності (селективне збирання) дозволяє отримати дуже високу точність з'єднання при невеликій кількості деталей. Крім того, відсутня необхідність і в контролі збірного зв'язку. Однак, організація збирального виробництва в цьому випадку значно ускладнюється.

При селективному збиранні деталі продукти обробляються по розширеним, а також по економічно досяжним виробничим допускам і сортуються за їх дійсними розмірами на групи з таким розрахунком, щоб при з'єднанні деталей, що входять в одну групу, забезпечувалося досягнення встановленого конструктором допускузакриваючої ланки і гарантована необхідна точність з'єднання.

Перевага способу групового збирання – зниження вимог до якості механічної обробки, *недолік* – додаткові затрати на сортування деталей, ускладнення збирання, збільшення незавершеного виробництва та складність підбору запчастин під час ремонту.

Метод компенсації (регулювання) оснований на тому, що, за необхідності, точність з'єднання досягається за рахунок застосування спеціальних регулюючих механізмів (наприклад, гвинт-гайка, пружина і т. п.), регулювальних прокладок або зміною розмірів спеціально-обговорюваної для цього поверхні деталей.

Метод компенсації застосовується незалежно від виду виробництв для механізмів, що вимагають в процесі експлуатації додаткових регулювань. Розрахунок діапазону регулювання, кількості та розміру прокладок здійснюється на основі розрахунку розмірних ланцюгів.

Розглянемо приклад розрахунку розмірів та кількості прокладок для регулювання осьового положення ведучого валу-шестерні редуктора моста, (рис. 4.3). На рис. 4.3 проставлені номінальні осьові розміри, що впливають на результати задачі.

У конструкції редуктора ведучий вал-шестерня 1 знаходиться в стакані 2. Регулювання зачеплення з веденою шестернею 3 здійснюється за допомогою прокладок 4. Необхідно визначити кількість прокладок і їхній розмір.

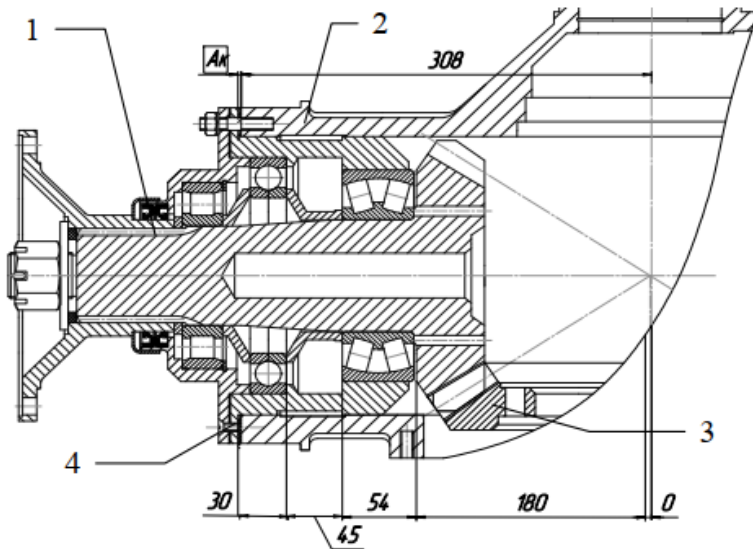


Рис. 4.3. Фрагмент редуктора моста ведучого: 1 – ведучий вал-шестерня, 2 – стакан, 3 – ведена шестерня, 4 – прокладки регулювальні

Розрахунок проведемо з використанням методу «максимуму-мінімуму» [29]. На рис. 4.4 наведено схему розмірного ланцюга (детально про розмірні ланцюги та їхній розрахунок у розділі даного посібника: «Для самостійної роботи»).

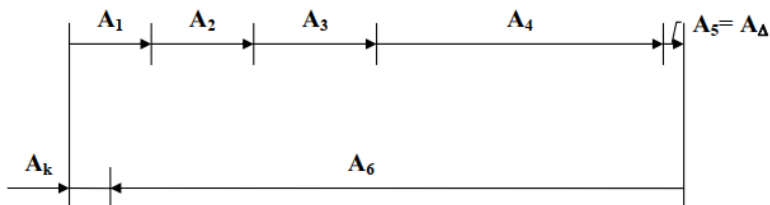


Рис. 4.4. Схема розмірного ланцюга

Схема розмірного ланцюга являє собою дві лінії, паралельні осі ведучого валу-шестерні редуктора. Початкова ланка A_{Δ} розташовуємо на верхній лінії. Індеси 1, 2,... призначаємо з умови послідовного обходу ланок за годинниковою стрілкою, починаючи з замикаючої ланки. Остання ланка ланцюга повинна підходити до замикаючої з правого боку. Ланки на схемі, за виключенням замикаючої ланки, мають вид векторів. Збільшуючі ланки мають напрямок вектора зліва направо. Зменшуючі – навпаки [Нов].

Складаємо таблицю ідентифікаторів виробу [Нов].

Таблиця 4.2

Позначення і розміри ланок

Позначення ланок	ξ	Номинальний розмір, мм	Допуск, T_{A_i} , мкм	Відхилення, мм		
				$E_s(A_i)$	$E_i(A_i)$	$E_c(A_i)$
A_1	1	30	52	0	-0,052	-0,026
A_2	1	45	62	0,031	-0,031	0
A_3	1	54	50	0	-0,05	-0,025
A_4	1	180	100	0,05	-0,05	0
$A_5 = A_{\Delta}$	1	0	100	0,1	0	0,05
A_6	-1	308	130	0,065	-0,065	0

У табл. 4.2 номінальні розміри ланок взяті зі складального креслення редуктора. Точність розмірів ланок, за винятком A_3 і A_{Δ} , прийнята рівною дев'ятому квалітету. Відповідні цьому квалітету допуски наводяться в стовпці T_{A_i} . Допуск на розмір підшипника прийнятий з відповідного стандарту. Допуск на розмір A_{Δ} визначається точністю конічних передач по параметру збігу вершини діляльного конуса шестерні з віссю обертання колеса і регламентується СТ РЕВ 186-75. При розрахунку була прийнята шоста ступінь точності. Таким чином, при регулюванні необхідно забезпечити зміщення діляльного конуса конічної шестерні в межах 0-100 мкм.

У табл. 4.2 прийнято наступні позначення:

$E_s(A_i)$ – верхнє граничне відхилення допуску ланки A_i ;

$$E_s(A_i) = E_c(A_i) + \frac{TA_i}{2}. \quad (4.2)$$

$E_i(A_i)$ – нижнє граничне відхилення допуску ланки A_i :

$$E_i(A_i) = E_c(A_i) - \frac{TA_i}{2}, \quad (4.3)$$

де $E_c(A_i)$ – координата середини поля допуску ланки A_i .

На рис. 4.5 показано схему, яка дозволяє визначити координату середини поля допуску $E_c(A_i)$.

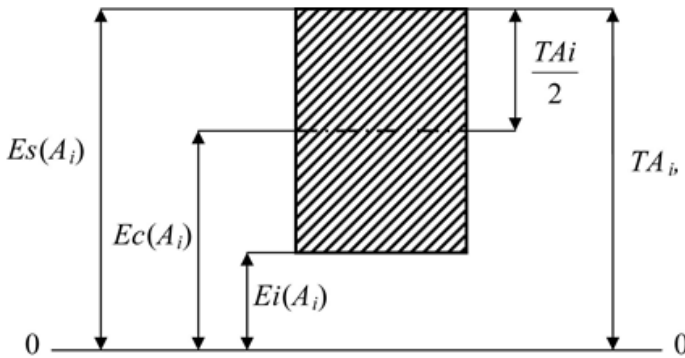


Рис. 4.5. Схема визначення координати середини поля допуску

Розрахунок

1. Номінальний розмір замикаючої ланки (компенсатора):

$$A_k = \sum_{i=1}^n A_{i36} - \sum_{i=n+1}^{n+p} A_{i3M} = 30 + 45 + 54 + 180 + 0 - 380 = 1 \text{ мм.}$$

2. Поле компенсування:

$$V_k = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j - TA_\Delta = 0,052 + 0,062 + 0,05 + 0,1 + 0,13 - 0,1 = 0,394 \text{ мм} \approx 0,4 \text{ мм.}$$

3. Координата середини поля компенсації:

$$E_c(A_k) = \sum_{i=1}^n E_c(A)_{i36} - \sum_{i=n+1}^{n+p} E_c(A)_{i3M} = -0,26 + 0 - 0,025 + 0 + 0,05 \approx 0 \text{ мм.}$$

4. Граничні розміри компенсатора:

$$A_k^{max} = A_k + E_c(A_k) + \frac{V_k}{2} = 1 + 0 + 0,2 = 1,2 \text{ мм;}$$

$$A_k^{min} = A_k + E_c(A_k) - \frac{V_k}{2} = 1 + 0 - 0,2 = 0,8 \text{ мм.}$$

5. Число прокладок однакової товщини:

$$N = \frac{A_k^{max}}{TA_\Delta} + 1 = \frac{1,2}{0,1} + 1 = 13 \text{ шт.}$$

6. Товщина прокладки:

$$s = \frac{A_k^{max}}{N} = \frac{1,2}{14} = 0,09 \text{ мм.}$$

5. Аналіз технологічності конструкції виробу

Згідно ГОСТ 14.205-83 під технологічністю слід розуміти сукупність властивостей конструкції виробу, визначальну її пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті при заданих показниках якості, об'єму випуску і умов виконання робіт.

Технологічність конструкції виробу визначається за двома групами оцінок, які мають якісний і кількісний характер.

Якісні оцінки технологічності конструкції:

- наявність базової деталі;
- наявність надійних установочних поверхонь;
- зручність виконання з'єднань і контролю технологічних операцій;
- наявність у виробі складальних одиниць;

- можливість застосування простих технічних засобів механізації і автоматизації збирання;
- необхідність перебазування виробів в процесі виконання збиральних робіт.

Якісні оцінки технологічності конструкції виробів дуже важливі, але в той же час, в значній мірі, суб'єктивні.

Кількісно технологічність конструкції виробу можна оцінити за допомогою узагальненого коефіцієнту технологічності K_0 .

$$K_0 = \sum_{i=1}^m \lambda_i K_i, \quad (5.1)$$

де K_i – значення і-го коефіцієнту технологічності;

λ_i – рівень значущості і-го коефіцієнту технологічності.

Значення K_i і λ_i для різних типів виробництва наведені у таблиці 5.1.

На основі розрахунку коефіцієнту K_0 проводиться кількісне оцінювання технологічності конструкції виробу (табл. 5.2).

Загальне оцінювання технологічності проводиться з урахуванням двох груп факторів – якісних і кількісних.

Виконаємо оцінку технологічності редуктора (рис. 1.1).

Якісна оцінка

Наявність базової деталі і надійних установочних поверхонь.

Базовою деталлю редуктора є корпус 1, який об'єднує всі деталі і збиральні одиниці даного виробу. З конструкції виробу видно, що основна кількість деталей і збиральних одиниць встановлюється з боку «Б». У цьому випадку редуктор встановлюється у вертикальному положенні на зовнішній буртик торцевої поверхні, що забезпечує його стійке положення. За умови встановлення кришки 36 (деталь А31) корпус 1 спирається на оброблену торцеву поверхню, яка забезпечить надійне базування.

Висновок: наявність однієї базової деталі та двох надійних установочних поверхонь об'єднують процес збирання.

Таблиця 5.1

Коефіцієнти технологічності збиральної одиниці

Найменування коефіцієнту, K_i	Позначення і розрахункові формули	Параметри формул	λ_i		
			одиничне	серійне	масове
Коефіцієнт числа деталей	$K_{чд} = e^{-0,006n_0}$	n_0 – загальна кількість деталей та збиральних одиниць	0,25	0,15	0,1
Коефіцієнт повторюваності	$K_{пов} = 1 - \frac{Q}{n_0}$	Q – число найменувань деталей і збиральних одиниць у виробі	0,2	0,1	0,05
Коефіцієнт механізації	$K_{мех} = \frac{n_{мех}}{n_0}$	$n_{мех}$ - число деталей, які можна встановити з застосуванням засобів механізації	0,1	0,3	0,35
Коефіцієнт взаємозамінюваності	$K_{мех} = \frac{n_{вз}}{n_0}$	$n_{вз}$ - число з'єднань, які виконуються за методом повної взаємозаміни	0,15	0,2	0,25
Коефіцієнт уніфікації та стандартизації	$K_{уд.} = \frac{Q_{п}}{Q_{у.п.}}$	$Q_{п}$ – загальна кількість поверхонь деталі, яка підлягає оцінці; $Q_{у.п.}$ – кількість уніфікованих поверхонь.	0,1	0,15	0,2
Коефіцієнт числа напрямків	$K_V = 1 - \frac{V_i}{n_0}$	V_i - число напрямків (сторон) рухів зі збирання	0,2	0,1	0,05

Таблиця 5.2

Кількісне оцінювання технологічності конструкції виробу

Значення коефіцієнту K_0	Оцінка конструкції
від 1,0 до 0,7	високотехнологічна
від 0,69 до 0,2	технологічна
від 0,19 до 0	нетехнологічна

Зручність встановлення деталей і контролю виконання операцій збирання.

Базування редуктора по двох торцевих поверхнях дозволяє вести збирання у напрямку «зверху– до низу». Сила тяжіння дозволяє утримувати деталі, що спрягаються, на місці в момент їхнього початкового дотику. Більшість деталей та збиральних одиниць встановлюють без спеціального контролю. Потрібна кількість з'єднань визначається візуально або шляхом переміщення спряжених деталей або одиниць вручну.

Висновок: вище зазначені фактори сприяють виконанню процесу збирання.

Наявність збиральних одиниць

У конструкції редуктора присутні декілька збиральних одиниць. Це дає можливість розділити процес збирання на декілька етапів і подавати на загальне збирання редуктора меншу кількість комплектуючих виробів, що спрощує процес збирання.

Висновок: мінімізація комплектуючих виробів дозволяє підвищити якість виконання з'єднань.

Можливість застосування простих технічних засобів механізації і автоматизації збирання

Під час збирання редуктора потрібно виконати декілька різьбових і пресових з'єднань. Для цього рекомендовано використовувати стандартні гайковерти та преси.

Потреба в перебазуванні виробів у ході збирання.

У процесі збирання редуктора потрібно виконати лише одне перебазування.

Виконаний аналіз якісних параметрів технологічності редуктора за умов встановленого типу і методу виробництва визначає його конструкцію як достатньо технологічну.

Кількісні параметри технологічності конструкції редуктора

Розрахунок коефіцієнтів технологічності конструкції редуктора, виконаний за формулами таблиці 5.1, наведено нижче, в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Коефіцієнти технологічності конструкції редуктора

Найменування коефіцієнту, K_i	Параметри формул (табл. 5.1.)	Значення, K_i	λ_i	$\lambda_i K_i$
Коефіцієнт числа деталей	$Q_{\Pi} = 65$	0,68	0,15	0,1
Коефіцієнт повторюваності	$Q = 17$	0,74	0,1	0,07
Коефіцієнт механізації	$n_{\text{мех}}=23$	0,35	0,3	0,1
Коефіцієнт взаємозаміни	$n_{\text{вз}}=61$	0,94	0,2	0,19
Коефіцієнт уніфікації та стандартизації	$Q_{\text{у.п.}}=38$	0,58	0,15	0,08
Коефіцієнт числа напрямків	$V_i=4$	0,94	0,1	0,09

З урахуванням табл. 5.2 маємо: $K_0=0,63$.

За табл. 5.2 для отриманого значення $K_0=0,63$ та з урахуванням вище наведеної якісної оцінки робимо висновок що конструкція редуктора є технологічною.

У ході виконання курсового проекту потрібно пропрацювати на технологічність не лише виріб вцілому, як подано вище, а й одну з деталей даного виробу (деталь обирає викладач). Пропрацювання на технологічність деталі проводять за залежностями (3.1)-(3.8) (Лекції. Тема 3: Відпрацювання конструкцій на технологічність).

6. Розробка операційної технології збирання

На даному етапі проектування технологічного процесу проводиться розподіл всього об'єму робіт зі збирання виробу між окремими позиціями обладнання або робочими місцями. Це дає можливість для багатопозиційного обладнання визначити загальну кількість позицій з їхньою диференціацією на автоматичні та ручні. Для однопозиційного обладнання визначається кількість стендів.

Вихідними даними для розробки операційної технології збирання є: темп випуску виробів; маршрут збирання; таблиця переходів; рівень автоматизації процесу; вибраний тип обладнання для збирання; норми часу на виконання всіх переходів процесу збирання.

Технологічний процес збирання можна представити у вигляді сукупності дій з деталями, які послідовно з'єднуються. Встановлення однієї деталі або складальної операції називають переходом. Час на виконання одного переходу поділяється на дві частини: t_0 та $t_{в}$, t_0 – час на безпосереднє спряження деталей (наприклад запресування деталей, загвинчування, встановлення, тощо).

Таким чином, час виконання одного переходу $t_{пер}$ можна розрахувати за формулою:

$$t_{пер} = t_0 + \sum_{j=1}^l t_{вj}, \text{ хв/шт.}, \quad (6.1)$$

де l – кількість допоміжних дій (рухів, прийомів) під час виконання переходу.

Для розрахунку $t_{пер}$ для кожної деталі потрібно скласти перелік всіх дій, визначити якими засобами вони будуть виконуватись і розрахувати час виконання кожної дії (табл. 6.1).

Під час виконання курсового проекту можна для цього використати метод моделювання. З цією метою потрібно скласти перелік всіх дій, які потрібно виконати під час виконання конкретного технологічного переходу. Наприклад, взяти з тари

деталь i , піднести до базового виробу, виконати потрібну орієнтацію, сумістити посадочні фаски, запресувати і т.п.

Далі, використовуючи замість деталі i умовний виріб виконують всі, потрібні на Ваш погляд, дії. Сумарний час виконання дій використовують як час технологічного переходу. Визначивши час кожного переходу, переходять до розробки операційної технології збирання. При цьому потрібно виконувати наступні умови:

- На одній позиції або стенді можна об'єднувати декілька послідовних переходів, виконання яких потребує ручної праці;

- Кількість об'єднаних переходів k визначається співвідношенням:

$$\sum_{i=1}^k t_{\text{пер}i} \leq (0,7 \div 0,85)\tau. \quad (6.2)$$

Менше значення (0,7) – для автоматизованого обладнання; значення наближене до 0,85 – для стендового збирання.

- Не допустимо на одній позиції суміщати виконання ручних і автоматичних переходів;

- Не рекомендується на одній позиції об'єднувати виконання автоматичних переходів з різними методами збирання;

- Можливим є суміщення однотипних автоматичних переходів, які виконуються одночасно (наприклад, одночасне запресування декількох заглушок, одночасне загвинчування декількох гайок, тощо).

Розглянемо приклад (рис. 6.1).

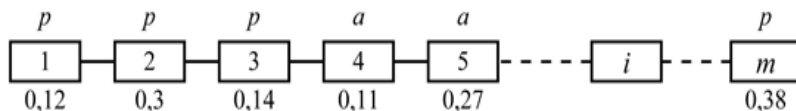


Рис. 6.1. Приклад розрахунку кількості позицій (стендів) обладнання для збирання

На рис. 6.1 наведено маршрут збирання умовного виробу, який включає m переходів. Зверху, над номером переходу, зазначено спосіб виконання: p – ручний, a – автоматичний. Четвертий та п'ятий переходи потребують різних методів збирання. Знизу, під номером переходів, приведено числові значення часу їхнього виконання. Обладнання – автоматична лінія. Темп випуску виробів 1шт./хв.

Так як збирання проводиться на одній одиниці обладнання маємо одну технологічну операцію з номером 10 (номер операції приймають кратним 10, тобто 10, 20, 30 і т. п.).

Виконаємо розрахунок кількості позицій обладнання для виконання перших п'яти переходів.

Перші п'ять переходів виконуються з застосуванням ручних дій, тобто можуть виконуватись на одній позиції. Проводимо перевірку на відповідність потрібному значенню τ :

$$(t_{\text{пер}1} + t_{\text{пер}2} + t_{\text{пер}3}) = 0,56 < 0,7\tau.$$

Таким чином, на першій позиції будуть виконуватись три переходи. Друга та третя позиції автоматичні.

Визначимо час роботи позиції:

$$t_{\text{поз}j} = (1,15 \div 1,2) \sum_{i=1}^k t_{\text{пер}i}. \quad (6.3)$$

У нашому прикладі: $t_{\text{поз}1} = 1,2 \times 0,56 = 0,67$; $t_{\text{поз}2} = 0,13$; $t_{\text{поз}3} = 0,32$.

Результати роботи потрібно оформити у вигляді таблиці (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Оперійний технологічний процес збирання виробу «.....»
(навести назву)

№ операції	№ позиції	№ переходу	Найменування переходу	$t_{\text{пер}}$ хв./шт.	$t_{\text{поз}}$ хв./шт.
10	1	1	Встановити деталь (вказати найменування деталі та код згідно схеми збирання) у приспособлення -..., закріпити	0,12	0,67
		2	...	0,3	
		3	0,14	
	2	4	0,11	0,13
	3	5	...	0,27	0,32
			...		
		m	...	0,38	

Норми часу на виконання робіт наведено у додатку 1.

Розподіливши загальний об'єм робіт між окремими позиціями або стендами, проводиться розрахунок кількості робітників. Як правило, кількість виробничих робітників для однієї зміни приймається рівним кількості позицій або стендів з ручним способом виконання робіт. Кількість допоміжних робітників (наладчиків) приймається з співвідношення один наладчик на шість – вісім автоматичних позицій.

Під час проектування технологічних процесів виготовлення виробів основним параметром, за яким проводиться розрахунок продуктивності роботи обладнання, його кількість і коефіцієнт завантаження, є штучний час $t_{\text{шт}}$.

Для багатопозиційного обладнання розрахунок штучного часу проводиться за найбільш довготривалій позиції за залежністю:

$$t_{шт} = (1,1 \div 1,15)t_{поз.мах} . \quad (6.4)$$

Для однопозиційного обладнання штучний час можна розрахувати:

$$t_{шт} = (1,1 \div 1,15) \sum_{i=1}^K t_{пер.i} . \quad (6.5)$$

Продуктивність роботи обладнання Q визначається за виразом:

$$Q = \frac{1}{t_{шт}}, \frac{шт.}{хв.} . \quad (6.6)$$

Коефіцієнт завантаження обладнання визначається:

$$K_{зав.} = \frac{t_{шт}}{\tau} 100\% . \quad (6.7)$$

У випадку, коли штучний час перевищує темп випуску, проводиться розрахунок кількості паралельно працюючого обладнання. В цьому випадку визначається розрахункова кількість одиниць обладнання $S_{роз.}$. Та заокруглюється до цілого числа у більшу сторону. Отримане значення характеризує прийнятну кількість одиниць обладнання $S_{пр.}$

$$S_{роз.} = \frac{t_{шт.}}{\tau} \rightarrow S_{пр.} \quad (6.8)$$

Фрагменти операційної технології збирання можуть бути представлені у пояснювальній записці у вигляді ескізів налагодження на виконання окремих переходів збирання.

Налагодження – це рисунок, який дає уявлення про спосіб виконання переходу. На ескізі налагодження тонкими умовними лініями показують базову деталь або збиральну одиницю у положенні, яке відповідає переходу, що виконується. Приспосіблення показується лініями нормальної обвідки (допускається зображення лише частини установочного приспособлення).

Приклад виконання налагодження подано на рис. 6.2.
Операція 10. Позиція 7. Перехід 23.
Запресувати підшипник Б3 у стакан Б5.

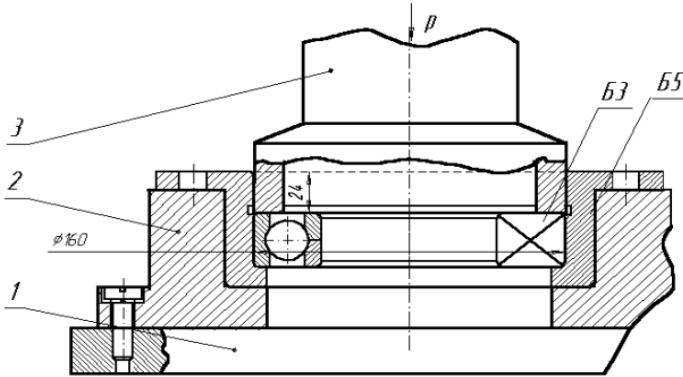


Рис. 6.2. Приклад виконання налагодження: приспособлення та інструменти: 1 – плита супутника*, 2 – установочне приспособлення, 3 – оправка пресу

Примітка*: У багатопозиційному обладнанні переміщення виробів від однієї позиції до іншої може здійснюватися за допомогою супутників або самостійно. Супутник – це приспособлення, яке переміщується разом з виробом по поверхні конвеєру. Наявність супутника спрощує встановлення та дозволяє підвищити точність базування виробів, що особливо є важливим на автоматичних позиціях. Чим складніша конфігурація виробу, тим менш надійними є його базуючі елементи – тим ефективнішим є застосування супутника. Конструктивно супутник являє собою прямокутну плиту, одна сторона якої відповідає ширині конвеєра, які мають стандартний розмір по ширині (250 мм, 450 мм, 630 мм, 800 мм, 1000 мм).

Таблиця 6.1

Рівні механізації та автоматизації процесу збирання

Рівні автоматизації процесу збирання	Просторова орієнтація	Поплучна видача у зону збирання	Спряження деталей	Силове замикання	Управління допоміжними механізмами	Переміщення виробу	Встановлення виробу на позицію	Тип виробництва	Характеристика обладнання і механізмів
Ручне збирання	Р	Р	Р	Р		Р	Р	Одиничне Дрібно-серійне	Верстаки, стенди, рольганги, ручний інструмент, універсальні пристосування
Механізоване збирання	Р	Р	Р	Р/М	Р	М	М	Середньосерійне і крупносерійне	Однопозиційне та багатопозиційне обладнання з фіксацією виробу на позиції збирання; механізований інструмент, преси, спец. пристосування
Автоматизоване збирання	Р/М	Р/М	Р/М	М	Р/М	М	М	Крупносерійне та масове	Частина позицій обладнання працює в автоматичному режимі, ручна праця максимально механізована та застосовується лише для деталей, які важко орієнтувати.
Автоматичне	М	М	М	М	М	М	М	Масове	Всі позиції обладнання працюють в автоматичному режимі

Р – ручне виконання; М – механізоване.

6.1. Нормування трудомісткості робіт при збиранні

Важливим етапом проектування технологічного процесу збирання є нормування робіт. Норми часу можуть бути встановлені двома способами:

- на основі статистичних даних;
- аналітично.

Норма часу N_c – це величина витрат робочого часу, яка встановлюється для виконання одиниці роботи робітником або групою робітників відповідної кваліфікації в певних організаційно-технічних умовах. Основними компонентами норми часу робіт при збиранні є:

- основний час $t_{\text{осн.}}$;
- допоміжний час $t_{\text{доп.}}$;
- підготовче-заклучний час $t_{\text{п.з.}}$;
- час на обслуговування робочого місця $t_{\text{обсл.}}$;
- час на відпочинок $t_{\text{пер.}}$.

Особливістю виконання слюсарних і збиральних робіт є мала доля витрат *основного* часу на протязі якого змінюється стан предмету праці. *Допоміжний час* витрачається на виконання дій, які забезпечують виконання основної роботи (підготовка до збирання, налагодження, встановлення деталей, т.п.). Під час збирання основні та допоміжні дії часто об'єднані в часі та розглядаються як один комплекс робіт. Нормування такого комплексу передбачає визначення так званого неповного оперативного часу $t'_{\text{оп}}$. Або повного оперативного часу $t_{\text{оп}}$. Використання неповного часу є доцільним лише за умови, коли допоміжні прийоми робіт є довготривалими і мають самостійне значення.

Під час нормування у серійному виробництві для кожної операції процесу збирання визначається *підготовчо-заклучний час* $t_{\text{п.з.}}$, який витрачається робочим на підготовку до виконання заданої роботи і дії, які пов'язані з її завершенням. До цього виду витрат відносять час:

- отримання наряду, інструментів, приспособлень, документації;

- ознайомлення з роботою, кресленням, інструкціями;

- зняття інструменту і приспособлень, т. п.

Особливістю підготовчо-заклучного часу є те, що його величина не залежить від об'єму робіт, які виконують згідно завдання. Даний час становить:

-для слюсарних робіт – 3-6 хв;

-для збиральних – 6-15 хв.

Під час розрахунків його встановлюють залежно від специфіки збиральних робіт у вигляді долі оперативного часу коефіцієнтом $a_{п.з.}$.

Час для обслуговування робочого місця $t_{обсл.}$ – час, який виділяється робочому для розкладання інструменту перед початком роботи, очищення робочого місця, заміни інструменту в процесі роботи, передавання робочого місця по зміні. Час встановлюють у вигляді долі оперативного часу коефіцієнтом $a_{обсл.}$.

Час перерви на відпочинок та особисті потреби $t_{пер.}$ складає 4...6% оперативного часу.

Розрахунок норми часу для масового та крупносерійного виробництва проводиться за формулою:

$$T_{шт} = \sum t_{оп} \left(1 + \frac{\alpha_{обсл} + \alpha_{отл}}{100} \right) K_2 K . \quad (6.9)$$

Розрахунок норми часу для серійного виробництва:

$$T_{шт} = \sum t_{оп} \left(1 + \frac{\alpha_{обсл} + \alpha_{отл} + \alpha_{пз}}{100} \right) K_2 K_1 . \quad (6.10)$$

Тут $\sum t_{оп}$ – сума оперативного часу, яка встановлюється за нормативами;

$\alpha_{обсл}$, $\alpha_{отл}$, $\alpha_{пз}$ – відповідно час на обслуговування робочого місця, особисті потреби і підготовчо-заклучний час у відсотках від оперативного часу;

K , K_1 , K_2 – коефіцієнти, які враховують відповідно число прийомів і комплексів прийомів, які виконує один робітник, число деталей в партії, умови виконання робіт (табл. Д. 1.6)

У таблиці Д.1.4 час на відпочинок подано за умови робіт з використанням підйомно-транспортних засобів та при монотонності роботи з тривалістю операцій, що повторюються, від 1 до 3 хвилин. За інших умов роботи час $T_{шт}$ потрібно збільшувати:

- залежно від вантажообороту за зміну – від 0,5 до 1,0 т на 1%, до 3 т на 2%, до 5 т на 3%, до 8 т на 4%;

- за умови роботи з автоматичним інструментом залежно від рівня вібрації та шуму – до 50% робочого часу на 2%, більше 50% робочого часу на 4%;

- якщо тривалість операцій, які повторюються, від 0,5 до 1 хв – на 1%; якщо тривалість до 0,5 хв – на 2%.

У табл. Д.1.5 число прийомів і комплексів прийомів, які виконує один робітник, визначається як відношення часу циклу збирання на робочому місці на середню тривалість прийомів і комплексів прийомів.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Нормативна частина

Нормативи часу на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби; поправочні коефіцієнти на оперативний час.

Таблиця А.1.1

Час на організаційно-технічне обслуговування робочого місця			Масове та крупносерійне виробництво	
№ поз.	Склад витрат робочого часу	Місце роботи	Робота з застосуванням	
			Механізованого інструменту	Простого інструменту
			% від оперативного часу	
1	1. Розкладання інструменту на початку зміни і прибирання його в кінці зміни. 2. Прибирання робочого місця. 3. Регулювання механізованого інструменту і приспособлень у процесі роботи.	Конвеєр	5	5
2	4. Заміна інструменту. 5. Інструктаж робочого майстром.	Стіл або стенд для збирання	4	2

Таблиця А.1.2

Характеристики робіт зі збирання (групи складності)		
Група складності		
Шифр	Вид	
I	Проста	Число найменувань деталей, які входять у збиральну одиницю або виріб до 26. Збирання проводиться з застосуванням універсального, немеханізованого інструменту
II	Середньої складності	Число найменувань деталей, які входять у збиральну одиницю або виріб до 100. Збирання проводиться з застосуванням універсального і спеціального інструменту та приспособлень, які вимагають нескладного вивірювання та налаштування
III	Складна	Число найменувань деталей, які входять у збиральну одиницю або виріб понад 100. Збирання проводиться з застосуванням універсального і спеціального інструменту та приспособлень і обладнання, які вимагають точного вивірювання та налаштування

Таблиця А.1.3

Нормативи часу				
Час	Зміст роботи	Групи складності збирання		
		Час	у %	від оперативного часу
Підготовчо-заклучний	1. Отримання наряду, креслень, документації, інструменту, матеріалів, деталей, збиральних одиниць на робочому місці 2. Ознайомлення з завданням і отримання інструктажу від майстра 3. Огляд, мащення і апробація механізованого інструменту та пристосіблень до початку роботи 4. Задача креслення, документації, зібраних виробів, інструменту, пристосіблень після виконання завдання	1,5	2	3
На обслуговування робочого місця	1. Регулювання механізованого інструменту, пристосіблень і обладнання у процесі роботи 2. Чистка і змащення інструменту, пристосіблень і обладнання у процесі роботи 3. Заміна та заправлення інструменту 4. Вивчення креслень, інструкцій та технологічного процесу 5. Збирання робочого місця	2,5	3,5	4,5

Таблиця А.1.4

Підготовчо-заклучний час. Час на обслуговування робочого місця		Середньосерійне виробництво
Час	Зміст роботи	Час у % від оперативного часу
Підготовчо-заклучний час	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отримання інструменту та креслень 2. Ознайомлення з роботою 3. Оформлення документації та здача роботи 4. Підключення та відключення механізованого інструменту на робочому місці 	2
На обслуговування робочого місця	Розкладання, зміна, правка робочого інструменту і його прибирання	1

Таблиця А.1.5

Час на відпочинок та особисті потреби		Всі типи виробництва
Відпочинок	Особисті потреби	Всього
Час у % від оперативного часу		
4	2	6

Таблиця А.1.6

Поправочні коефіцієнти на оперативний час				
У залежності від числа прийомів і комплексів прийомів робіт, які виконуються			Масове та крупносерійне виробництво	
№ позиції	Число прийомів і комплексів прийомів		Коефіцієнт К	
1	1...3		0,95	
2	4...6		1,0	
3	7...12		1,05	
4	13...24		1,1	
5	25...50		1,16	
У залежності від числа деталей (збиральних одиниць) у партії			Середньосерійне виробництво	
Число деталей до:				
30	50	100	200	500
Коефіцієнт K_1				
1,2	1,1	1,0	0,9	0,8
Залежно від умов роботи			Всі типи виробництва	
№ позиції	Умови виконання роботи		Коефіцієнт K_2	
1	Встановлення, з'єднання і кріплення деталей (збиральних одиниць)		Зверху, руки на рівні грудей	1,0
2			Знизу	1,1
3			Всередині виробу	1,2
4			Руки над головою	1,3

Розділ 2. Нормативи оперативного часу на допоміжні роботи.

Таблиця А.1.7

Застроплювання або відстроплювання		Всі типи виробництва		
№ позиції	Спосіб застроплювання	Число стропів (захваті)	Застроплювання	Відстроплювання
			Чс, хв.	
1	Крюками	1	0,037	0,026
2		2	0,058	0,039
3		3	0,076	0,055
4		4	0,096	0,07
5	Захоплювачами	1	0,07	0,05
6		2	0,09	0,07
7		3	0,11	0,08
8		4	0,14	0,09
9	Канатом	1	0,06	0,043
10		2	0,074	0,05
11	Тросом	1	0,066	0,047
12		2	0,084	0,06
13	Підвісками	1	0,042	0,036
14	Ланцюгом	1	0,06	0,043
15		2	0,074	0,05
16	Спеціальне пристосування	1	0,82	0,063

Таблиця А.1.8

Навішування та зняття деталей (збиральних одиниць) на транспортний підвісний конвеєр		Всі типи виробництва
Зміст роботи		Норма часу, хв.
Навішування	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взяти деталь масою M, кг, перемістити до конвеєру на відстань K, м. 2. Навісити деталь на конвеєр 	$T=0,0258K^{0,9}M^{0,5}$
Зняття	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зняти деталь масою M, кг 2. Перемістити до місця встановлення на відстань K, м, вернутись назад 	$T=0,02K^{0,9}M^{0,5}$

Таблиця А.1.9

Переміщення деталей по рольгангу та склізу		Всі типи виробництва
Зміст роботи		Норма часу, хв.
По рольгангу	Перемістити деталь масою M , кг, по рольгангу на певну відстань K , м	$T=0,087K^{0,23}M^{0,35}$
По склізу	Зіштовхнути деталь	$T=0,006M^{0,48}$

Таблиця А.1.10

Переміщення деталей (збиральних одиниць) за допомогою вантажопідіймних машин					Всі типи виробництва			
№ позиції	Вантажопідіймні механізми	Вантажопідйомність, кг	Швидкість, м/хв.		Норма часу на 1 м., хв.			
			Підйом	Пересування	Підйом	Пересування		
1	Талі електричні Тельфери Кран-балки Пневматичні підйомники По монорельсу	125	12...14	Вручну	0,083...90,07	-		
2		250	8		0,125	-		
3			9		0,111	-		
4			18..20		0,058...0,05	-		
5		500	3		0,332	-		
6			8	18,5	0,125	0,054		
7				30		0,033		
8		Тельфери	500	8,5	Вручну	0,118	-	
9				12...16	27,5...31	0,083...0,063	0,034	
10		Кран-балки	750	8	30	0,125	0,033	
11				6	20	0,167	0,05	
12		Пневматичні підйомники	1000	7,5	30	0,134	0,033	
13				8	Вручну	0,125	-	
14							20	0,05
15							30	0,033
16							32	0,031
17							34	0,029
18				1500	8	Вручну	0,125	-
19		2000	7,5	30	0,134	0,033		
20				20		0,05		
21				28		0,036		
22				30	0,125	0,033		
23			3000	8	20		0,05	
24		30				0,033		
25		По монорельсу	Без вантажу			-	0,02	
26			З вантажем по прямій			-	0,03	
27			З вантажем по кривій			-	0,05	

Прмітка. На прийом «вмикнути» або «вимкнути» підйомник до наведеної в таблиці норми часу додовати 0,015 хв.

Таблиця А.1.11

Переміщення виробів до місця збирання вручну	Всі типи виробництва
Зміст роботи	Норма часу, хв
1. Взяти деталь, збиральну одиницю масою М, кг, ящик з деталями і інструментами 2. Перемістити до місця збирання на відстань К, м	$T=0,014 K^{0,9} M^{0,34}$

Таблиця А.1.12

Переміщення робочого на потрібну відстань К, м	Всі типи виробництва
Характер переміщення	Норма часу, хв
Спуск по сходах	$T=0,03 K^{0,91}$
Підйом по сходах	$T=0,036 K^{0,91}$
По горизонталі під час супроводження вантажу, який переміщується підйомником	$T=0,05 K$

Таблиця А.1.12

Переміщення інструменту на потрібну відстань К, м		Всі типи виробництва
Вид інструменту	Зміст прийому	Норма часу, хв
Ручний (молоток, ключ, викрутка, тощо)	Взяти інструмент, перемістити	$T=0,02 K^{0,25}$
	Відкласти	$T=0,015 K^{0,25}$
Зйомний пневмо- або електроінструмент	Зняти інструмент, перемістити, вимкнути	$T=0,035 K^{0,58}$
	Вимкнути, перемістити, відкласти	$T=0,019 K^{0,59}$
Підвісний інструмент	Підвести інструмент до робочої точки, вимкнути	$T=0,023 K^{0,45}$
	Вимкнути та відпустити	$T=0,016 K^{0,45}$

Таблиця А.1.13

Переміщення інструменту масою М, кг, на потрібну відстань К, м, під час загвинчування декількох гайок, болтів, тощо послідовно	Всі типи виробництва
Зміст роботи	Норма часу, хв.
Перемістити гайковерт або ручний ключ	$T=0,0013K^{0,25}M^{0,22}$

Таблиця А.1.14

Повертання та перевертання деталей масою М, кг, та збиральних одиниць вручну на кут У, град.		Всі типи виробництва
Спосіб	Зміст прийомів	Норма часу, хв.
На столі	Повернути горизонтальній площині у	$T=0,0025U^{0,33}M^{0,29}$
	Повернути вертикальній площині у	$T=0,0044U^{0,33}M^{0,29}$
У пристосуванні	Вийняти фіксатор, повернути приспособлення з деталлю, вставити фіксатор	$T=0,0039U^{0,6}M^{0,16}$

Таблиця А.1.15

Укладання деталей і збиральних одиниць масою М, кг, в тару вручну		Всі типи виробництва
Спосіб	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Навалом	Взяти, покласти у тару довільно	$T=0,015M^{0,55}$
З орієнтацією	Взяти, покласти у тару з акуратною орієнтацією	$T=0,025M^{0,55}$

Таблиця А.1.16

Зв'язування деталей масою М, кг, кількості К, шт., дротом		Всі типи виробництва
Спосіб	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Діаметр дроту 1 мм	Взяти дрiт i комплект деталей, надiти на дрiт аюо обгорнути iм комплект деталей один раз, закрутити кiнцi дроту та вiдкласти комплект	$T=0,032M^{0,28}K^{0,75}$
<p>1. За умови використання дроту діаметром 2 мм норму часу домножають на 1,2.</p> <p>2. За умови звязування деталей у двох місцях норму часу домножують на 1,3.</p> <p>3. За умови звязування деталей з укладанням або підрахунком – на 1,1.</p>		

Таблиця А.1.17

Звільнення деталей діаметром Д, мм, від обмотувального паперу		Всі типи виробництва
Спосіб	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Зняти обмотувальний папір	Взяти деталь (збиральну одиницю), розгорнути	$T=0,013D^{0,38}$
Розв'язати шпагат, зняти папір	обмотувальний папір, вiдкласти деталь,	$T=0,016D^{0,38}$
Розкрутити дрiт, зняти папір	покласти папір у тару для вiдходiв	$T=0,019D^{0,38}$

Таблиця А.1.18

Протирання деталей з шириною поверхні В, діаметром Д (збиральних одиниць) сухою серветкою, замшею		Всі типи виробництва
Характер деталей (збир. од.)	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Прості з гладкою поверхнею довжиною Л	1. Взяти серветку. 2. Протерти деталь. 3. Відкласти серветку	$T=0,0064Д^{0,24}Л^{0,82}$ $T=0,005В^{0,24}Л^{0,82}$
Складні з виступами, карманами та отворами		$T=0,0083Д^{0,24}Л^{0,82}$ $T=0,0065В^{0,24}Л^{0,82}$

Таблиця А.1.19

Огляд деталей масою М, кг, шириною В, мм, діаметром Д, мм, довжиною Л, мм		Всі типи виробництва
Характер деталей	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Призматичні	1. Взяти деталь. 2. Оглянути з усіх боків.	$T=0,00525М^{0,73}В^{0,15}Л^{0,21}$
Тіла обертання		$T=0,00621М^{0,73}В^{0,15}Л^{0,21}$

Таблиця А.1.20

Обдування деталей (збиральних одиниць) з шириною поверхні В, діаметром Д сухою серветкою, замшею		Всі види виробництва
Характер деталей (збир. од.)	Зміст прийомів	Норма часу, хв.
Прості з гладкою поверхнею довжиною Л	1. Взяти шланг, вмикнути повітря. 2. Обдути деталь. 3. Вимкнути повітря, відкласти шланг.	$T=0,0029Д^{0,24}Л^{0,41}$ $T=0,0022Д^{0,24}Л^{0,41}$
Складні з виступами, карманами і отворами		$T=0,0037Д^{0,24}Л^{0,41}$ $T=0,0028Д^{0,24}Л^{0,41}$

Таблиця А.1.21

Промивка деталей кількістю К, шт., масою деталі (тари з деталями) М, кг,			Всі типи виробництва
Спосіб промивання	Тип деталей	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Промивання у ванні зі шлангу			
Від пилу та стружки	3 гладкою поверхнею	Покласти деталь у тару і опустити у ванну, взяти шланг, відкрити вентиль,	$T=0,221/K^{0,62}$
	3 різцю і карманами		$T=0,442/K^{0,62}$
Від мастила	3 гладкою поверхнею	промити деталі, закрити вентиль, відкласти шланг, вийняти тару з деталями з ванни	$T=0,276/K^{0,62}$
	3 різцю і карманами		$T=0,552/K^{0,62}$
Промивання занурюванням у ванну			
Від пилу та стружки	3 гладкою поверхнею	Вкласти деталі у тару, опустити у ванну, вийняти тару з деталями з ванної	$T=0,5158/K^{0,62}$
	3 різцю і карманами		$T=0,316 /K^{0,62}$
Від мастила	3 гладкою поверхнею		$T=0,198 /K^{0,62}$
	3 різцю і карманами		$T=0,396 /K^{0,62}$
Промивання деталей довжиною Л, мм, шириною В, мм, діаметром Д, мм, масою до 20 кг у ванні поштучно щіткою, серветкою			
Від пилу та стружки	3 гладкою поверхнею	Взяти деталь, опустити у промивну ванну, взяти щітку,	$T=0,052В^{0,3}Л^{0,4}$
	3 різцю і карманами		$T=0,073В^{0,3}Л^{0,4}$
Від мастила	3 гладкою поверхнею	промити деталь, відкласти щітку, вийняти деталь та відкласти	$T=0,0755В^{0,3}Л^{0,4}$
	3 різцю і карманами		$T=0,0106В^{0,3}Л^{0,4}$
Від мастила	3 гладкою поверхнею		$T=0,074В^{0,3}Л^{0,4}$
	3 різцю і карманами		$T=0,0105В^{0,3}Л^{0,4}$
Від мастила	3 гладкою поверхнею		$T=0,0108В^{0,3}Л^{0,4}$
	3 різцю і карманами		$T=0,015В^{0,3}Л^{0,4}$

Таблиця А.1.22

Змащення (покриття) деталей (збиральних одиниць) з шириною поверхні В, діаметром Д, довжиною Л		Всі типи виробництва
Вид мащення (покриття)	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Мастило	1. Взяти пензлик, занурити у мастило (фарбу).	$T=0,0037D^{0,33}L^{0,47}$ $T=0,0025B^{0,33}L^{0,47}$
Фарба	2. Нанести мастило (покриття) на поверхню. 3. Відкласти пензлик або маслянку.	$T=0,0053D^{0,33}L^{0,47}$ $T=0,0036B^{0,33}L^{0,47}$

Таблиця А.1.23

Змащення (покриття) деталей (збиральних одиниць) з шириною поверхні В, діаметром Д, довжиною Л		Всі типи виробництва
Вид мащення (покриття)	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Мастило	1. Взяти маслянку (пульверизатор).	$T=0,0029D^{0,33}L^{0,47}$ $T=0,0036B^{0,33}L^{0,47}$
Фарба	2. Нанести мастило (покриття) на поверхню. 3. Відкласти маслянку (пульверизатор).	$T=0,0037D^{0,33}L^{0,47}$ $T=0,0026B^{0,33}L^{0,47}$

Таблиця А.1.24

Змащення (покриття) деталей (збиральних одиниць) з шириною поверхні В, діаметром Д, довжиною Л		Всі типи виробництва
Вид мащення (покриття)	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Мастило	1. Взяти деталь.	$T=0,0044D^{0,33}L^{0,47}$
Фарба	2. Занурити у ванну з мастилом (покриттям). 3. Вийняти деталь та відкласти	$T=0,003D^{0,33}L^{0,47}$

Таблиця А.1.24

Контрольні вимірювання деталей розміром Р, довжиною поверхні Л			Всі типи виробництва
Інструмент	Точність вимірювання Н, мм	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Мікрометр	0,01	1. Взяти інструмент 2. Виконати заміри 3. Відкласти інструмент	$T=0,0195P^{0,25}L^{0,27}$
Штангенциркуль	0,01...0,1		$T=(0,011P^{0,2}L^{0,28})/H^{0,32}$
Індикатор	0,01		$T=0,018P^{0,18}L^{0,27}$
Лінійка	-		$T=0,0254L^{0,22}$
Кутомір	0,05 град		$T=0,26$
Скоба одностороння	-		$T=(0,0122L^{0,81})/H^{0,4}$
Скоба двостороння	-		$T=(0,0285L^{0,19})/H^{0,4}$
Шаблон фасонний простий	-		$T=(0,012L^{0,19})/H^{0,9}$
Шаблон фасонний складного профілю	-		$T=(0,0087L^{0,22})/H^{1,2}$
Перевірка бічного зазору зубців у зачепленні			$T=0,09$ на одну пару
Маркування деталі кількістю знаків Н			Всі типи виробництва
Види поверхні	Тип виробництва	Зміст прийомів	Норма часу, хв.
Плоска	Ударне клеймо без підбору	1. Взяти інструмент. 2. Маркувати деталь. 3. Замінити інструмент.	$T=0,1H^{0,65}$
Циліндрична			$T=0,11H^{0,65}$
Плоска	Ударне клеймо з підбором		$T=0,15H^{0,65}$
Циліндрична			$T=0,165H^{0,65}$
Плоска	Електрограф		$T=0,065H^{0,6}$
Циліндрична			$T=0,07H^{0,6}$
Плоска	Кислотою, тушшю, фарбою		$T=0,07H^{0,6}$
Циліндрична			$T=0,075H^{0,6}$
Плоска	Фарбою по трафарету		$T=0,04H^{0,6}$
Циліндрична			$T=0,044H^{0,6}$

Таблиця А.1.25

Встановлення деталей масою М, кг, (збиральних одиниць) у тиски та зняття		Всі типи виробництва
Спосіб кріплення	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Гвинтовим затискачем	1. Взяти деталь. 2. Встановити та закріпити.	$T=0,16M^{0,26}$
Пневматичним затискачем	3. Відкріпити, зняти та відкласти	$T=0,13M^{0,26}$

Таблиця А.1.26

Притуплення гострих кромок довжиною Л		Всі типи виробництва
Вид інструменту	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Пневматична машина	1. Взяти інструмент. 2. Зачистити гостру кромку.	$T=0,009L^{0,4}$
Напилон	3. Відкласти інструмент.	$T=0,01L^{0,4}$
При обробці кромок внутрішніх поверхонь застосовувати коефіцієнт 1,2. При обробці кромок з загартованої сталі застосовувати коефіцієнт 1,4.		
Свердління отворів довжиною Л, діаметром Д пневматичною або електричною, ручною або настільною дриллю		Всі типи виробництва
Тип отвору	Зміст прийомів	Норма часу, хв.
Перший отвір	1. Взяти інструмент та виріб. 2. Підвести до місця свердління. 3. Вмикнути інструмент, свердлити отвір.	$T=0,002L^{0,57}D^{0,43}$
Кожний наступний отвір	4. Вивести свердло, вимкнути інструмент. 5. Очистити свердло, відкласти інструмент та виріб.	$T=0,001L^{0,57}D^{0,43}$

Таблиця Д. 1.27

Калібрування різі довжиною L , діаметром D		Всі типи виробництва
Вид інструменту	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Мітчик	1. Взяти інструмент. 2. Змастити мастилом.	$T=0,08 L^{0,77}/D^{0,45}$
Плашка	3. Калібрувати різь. 4. Вивернути та відкласти інструмент. 5. Очистити інструмент від стружки.	$T=0,1 L^{0,7}/D^{0,6}$
За умови калібрування різі в глухом отворі приймати коефіцієнт 1,2. За умови нарізання різі приймати коефіцієнт 2,1.		

Розділ. 3 Норми часу на роботи по збиранню

Таблиця А.1.28

Встановлення пружних кілець товщиною B , мм у виточку отворів або валу діаметром D , мм		Всі типи виробництва
Зміст прийомів		Норма часу, хв
1. Взяти деталь.		$T = 0,015 B^{0,6} D^{0,88}$
2. Встановити та закріпити.		
3. Відкріпити, зняти та відкласти.		

Таблиця А.1.29

Розвальцювання трубок довжиною $L=400...1000$ мм у пневматичному приспособленні		Всі типи виробництва
Матеріал трубки	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Мідні	1. Взяти виріб, встановити в приспособлення.	0,096...0,128
Сталеві	2. Розвальцювати кінець трубки. 3. Зняти виріб, відкласти.	0,125...0,166

Таблиця А.1.30

Запресування деталей масою М, кг на вал або в отвір на пресі на довжину Л, мм		Всі типи виробництва
Тип пресу	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Гідравлічний або механічний	1. Взяти деталь та встановити.	$T = 0,035 M^{0,2} L^{0,24}$
Гвинтовий	2. Вимкнути прес, запресувати.	$T = 0,065 M^{0,2} L^{0,24}$
Рейковий	3. Вимкнути прес, відкласти деталь, збиральну одиницю.	$T = 0,065 M^{0,2} L^{0,24}$
Стопоріння різбових з'єднань		Всі типи виробництва
Типи стопоріння	Зміст прийомів	Норма часу, хв.
Стопорними шайбами або пластинами товщиною Н, мм, кількістю К, шт	1. Взяти стопорну деталь. 2. Надіти на болт або шпильку. 3. Взяти викрутку, відігнути і обтиснути лапки (після затягування гайки). 4. Відкласти викрутку.	$T = 0,058 K^{0,58} H^{0,28}$
Стопоріння керненням	1. Взяти керн і молоток. 2. Закернити різь деталі. 3. Відкласти інструмент.	$T = 0,06 K^{0,37}$

Таблиця А.1.31

Встановлення деталей (збиральних одиниць) масою М, кг (не більше 20 кг) на вал або в отвір з пересуванням до упору на довжину Л		Всі типи виробництва	
Вручну			
Тип посадки	Діаметр	Зміст прийомів	Норма часу, хв
З гарантованим зазором	≤ 200 мм	1. Підвести деталь (збиральну одиницю)	$T = 0,01 M^{0,37} L^{0,37}$
	> 200 мм		1,2 Т
Н/н	≤ 200 мм	2. Встановити на вал або в отвір до упору	1,4 Т
	> 200 мм		1,7 Т

Таблиця А.1.32

Встановлення деталей (збиральних одиниць) масою М, кг, найбільшого розміру Р, мм на площину простим накладанням		Всі типи виробництва	
Вручну			
Спосіб встановлення		Зміст прийомів	Норма часу, хв
Без орієнтування	$M \leq 3$ кг	1. Взяти деталь (збиральну одиницю). 2. Встановити на площину. 3. Відкласти вузол.	$T = 0,012 M^{0,07} P^{0,16}$
	$M > 3$ кг		$T = 0,095 M^{0,3} P^{0,16}$
З суміщенням по отворах кількістю К	$M \leq 3$ кг		$T = 0,015 M^{0,07} P^{0,16} K^{0,2}$
	$M > 3$ кг		$T = 0,118 M^{0,3} P^{0,16} K^{0,2}$
Із суміщенням кромки або рисок	$M \leq 3$ кг		$T = 0,0154 M^{0,07} P^{0,16}$
	$M > 3$ кг		$T = 0,0122 M^{0,3} P^{0,16}$
З використанням підйомних засобів			
Без орієнтації		1. Взяти деталь (збиральну одиницю). 2. Встановити на площину. 3. Відкласти вузол.	$T = 0,011 M^{0,29} P^{0,17}$
Із суміщенням по отворах кількістю К			$T = 0,03 M^{0,25} P^{0,12} K^{0,14}$
Із суміщенням кромки або рисок			$T = 0,012 M^{0,29} P^{0,17}$

Таблиця А.1.33

Встановлення деталей (збиральних одиниць) масою М, кг на шпильки або шпильками в отвір з пересуванням до упору на довжину Л		Всі типи виробництва	
Вид прийому		Зміст прийомів	Норма часу, хв
Вручну $M \leq 20$ кг		1. Взяти деталь (збиральну одиницю). 2. Встановити на вал або в отвір до упору.	$T = 0,029 M^{0,2} L^{0,19}$
Із застосуванням підйомних засобів $M > 20$ кг		1. Підвести деталь (збиральну одиницю). 2. Встановити на вал або в отвір до упору.	$T = 0,0088 M^{0,41} L^{0,43}$

Таблиця А.1.34

Встановлення ущільнюючих кілець, сальників діаметром D , мм з пересуванням до упору на довжину L , мм		Всі типи виробництва
Вид поверхні	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Гладкі вали та отвори	1. Взяти ущільнююче кільце та інструмент. 2. Встановити на вал або в отвір до упору. 3. Віджати по діаметру для щільного прилягання.	$T = 0,004 D^{0,38} L^{0,38}$
На болти, шпильки і отвори з різью	4. Відкласти інструмент.	$T = 0,005 D^{0,38} L^{0,38}$

Таблиця А.1.35

Встановлення пружин діаметром D , з діаметром дроту D_d , мм, висотою H , мм		Всі типи виробництва
Вид п прийому	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Циліндричні пружини без розтягування	1. Взяти пружину. 2. Встановити на вал або в отвір, просунути до упору.	$T = 0,002 H^{0,22} D^{0,38} D_d^{0,51}$
Циліндричні пружини з розтягуванням	1. Взяти пружину та плоскогубці. 2. Завести один кінець пружини в отвір та закріпити. 3. Розтягнути пружину та закріпити другий кінець.	$T = 0,022 D^{0,42} D_d^{0,48}$
Спіральні пружини в отвір	1. Взяти пружину. 2. Встановити її кінці в отвір.	$T = 0,05 H^{0,2} D_d^{0,18}$

Таблиця А.1.36

Встановлення пружини діаметром D , мм з діаметром дроту D_d , мм, висотою H , мм		Всі типи виробництва
Вид п прийому	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Спіральних пружин з кріпленням на штифт	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взяти пружину. 2. Надіти її кінець на штифт. 3. Стиснути пружину і закріпити другий кінець. 	$T = 0,08H^{0,2}D_d^{0,28}$
Плоских пружин шириною B , мм у паз	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взяти пружину. 2. Вставити її кінці у паз. 	$T = 0,055H^{0,24}B^{0,28}$
Плоских пружин з кріпленням на штифт	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взяти пружину. 2. Надіти її кінець на штифт. 3. Стиснути пружину і закріпити другий кінець. 	$T = 0,06H^{0,24}B^{0,28}$

Таблиця А.1.37

Встановлення болтів, пальців діаметром D , мм в отвір з довжиною з'єднання L , мм числом K		Всі типи виробництва
Вид поверхонь	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Гладкі отвори	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взяти болт або палець. 2. Встановити болт або палець в отвір до упору. 	$T = 0,0077D^{0,29}L^{0,19}/K^{0,16}$

Таблиця А.1.38

Встановлення прокладок довжиною Л, мм, шириною В, мм		Всі типи виробництва
Вид прокладки	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Прямокутна та фасонна на площину	1. Взяти прокладку. 2. Встановити на площину з суміщенням по отворах або кромці.	$T = 0,0078L^{0,27}V^{0,18}$
Кругла на площину		$T = 0,0081D^{0,43}$, D – спряжений діаметр прокладки
Прямокутна, фасонна на шпильки		$T = 0,0045H^{0,19}K^{0,27}$, H- висота шпильки, мм; K-кількість шпильок.
Кругла на шпильки		$T = 0,0077D^{0,33}H^{0,19}K^{0,29}$,

Таблиця А.1.39

Встановлення шайби діаметром Д, мм на болти, гвинти, шпильки з просуванням на довжину Л, мм		Всі типи виробництва
Вид поверхні	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Різьбова	1. Взяти шайбу. 2. Встановити шайбу та просунути до упору	$T=0,0062D^{0,21}L^{0,21}$ На одну деталь

Таблиця А.1.40

Встановлення трубок діаметром Д, мм, довжиною Л, мм		Всі типи виробництва
Вид поверхні	Зміст прийомів	Норма часу, хв
Гладка	1. Взяти трубку. 2. Встановити трубку та підігнати її по місцю	$T=0,029D^{0,38}L^{0,3}$

Таблиця А.1.41

Встановлення шпонок у паз валу									Всі типи виробництва			
Зміст роботи: взяти шпонку та мідний молоток, встановити шпонку в паз валу та посадити її до упору, відкласти інструмент												
Встановлення призматичних шпонок												
Розмір, мм	10	20	28	40	50	63	70	80	100	125	160	200
Норми часу Т, хв.												
5x5	0,0 64	0,0 71	0,0 75	0,0 79	0,0 86	-	-	-	-	-	-	-
6x6	-	0,0 80	0,0 83	0,0 88	0,0 95	0,1 01	0,1 04	-	-	-	-	-
8x7	-	0,0 89	0,0 92	0,0 97	0,1 06	0,1 10	0,1 13	0,1 25	-	-	-	-
10x8	-	-	0,1 00	0,1 06	0,1 15	0,1 20	0,1 22	0,1 34	0,1 43	-	-	-
12x8	-	-	0,1 09	0,1 16	0,1 24	0,1 29	0,1 31	0,1 45	0,1 54	0,1 59	-	-
14x9	-	-	-	0,1 24	0,1 34	0,1 39	0,1 41	0,1 56	0,1 64	0,1 70	0,1 84	-
16x10	-	-	-	-	0,1 43	0,1 49	0,1 51	0,1 65	0,1 75	0,1 80	0,1 94	-
18x11	-	-	-	-	0,1 53	0,1 58	0,1 75	0,1 84	0,1 90	0,2 05	0,2 05	0,2 22
20x12	-	-	-	-	-	0,1 68	0,1 70	0,1 86	0,1 95	0,2 02	0,2 16	0,2 42
Встановлення сегментних шпонок												
Ширина шпонки, мм	Висота шпонки, мм	Довжина шпонки, мм										
		25	32	38								
		Час Т, хв.										
4...5	5...10	0,06		-								
6...8	9...13	-		0,07								
9...10	11...15	-		0,08								

Таблиця А.1.42

Встановлення пасів і ланцюгів розгорнутої довжини Л на шківі та зірочки		Всі типи виробництва	
Встановлення пасів			
Вид встановлення		Зміст прийомів	
		Норма часу, хв.	
Без регулювання натягу		Взяти пас, надіти на два шківі з натягом	
		$T=0,0064Л^{0,52}$	
З регулюванням натягу		Взяти пас, надіти на два шківі, відрегулювати натяг	
		$T=0,0117Л^{0,6}$	
Встановлення ланцюгів			
Без з'єднання ланок	Без регулювання	1. Взяти ланцюг, надіти на дві зірочки. 2. Відрегулювати натяг зірочки.	$T=0,0048Л^{0,6}$
	З регулюванням		$T=0,0089Л^{0,6}$
Зі з'єднанням ланок	Без регулювання	1. Взяти ланцюг, надіти на дві зірочки, з'єднати ланки. 2. Відрегулювати натяг ланцюга.	$T=0,052Л^{0,35}$
	З регулюванням		$T=0,087Л^{0,34}$

Таблиця А.1.43

Запресування штифтів діаметрів Д, мм, довжиною Л, мм вручну		Всі типи виробництва	
Вид штифта		Зміст прийомів	
		Норма часу, хв	
Циліндричний		1. Взяти штифт і молоток. 2. Встасити штифт в отвір. 3. Запресувати. 4. Відкласти молоток	$T=0,0012Д^{0,24}Л^{0,52}$
Конічний			$T=0,06Д^{0,26}$

Таблиця А.1.44

Закручування болтов, гвинтів, гайок, пробок з розміром різі Д, мм, кроком різі С, мм на довжину Л, мм		Всі типи виробництва
Попередньо на 3...4 нитки вручну (наживити)		
Вручну	1. Взяти деталь. 2. Наживити деталь.	$T=0,04D^{0,17}$
Остаточне загвинчування багатопшпindelним інструментом		
-	1. Взяти інструмент, встановити на болти, гайки. 2. Вмикнути інструмент, загвинтити деталі	$T=0,0068D^{0,65}K^{0,54}$ К – число шпindelів
Загвинчування болтів, гайок остаточно після наживлення		
Одношпindelний пневматичний або електричний	1. Взяти інструмент, встановити на болт, гайку.	$T=0,0053L^{0,73}/C^{0,62}$
Ключ поворотний	2. Загвинтити остаточно,	$T=0,016L^{0,73}/C^{0,62}$
Ключ торцевий	перемістити до	$T=0,018L^{0,73}/C^{0,62}$
Ключ гайковий	наступної деталі.	$T=0,028L^{0,73}/C^{0,62}$

Таблиця А.1.45

Закручування болтов, гвинтів, гайок, пробок з розміром різі Д, мм, кроком різі С, мм на довжину Л, мм		Всі типи виробництва
Затягування болтів, гайок після остаточного закручування		
Динамометричний ключ	1. Встановити ключ на деталь.	$T=0,015D^{0,43}$
Ключ гайковий	2. Затягнути.	$T=0,013D^{0,43}$
Ключ торцевий	3. Перемістити до наступної деталі	$T=0,012D^{0,43}$
Закручування пробок, штуцерів, маслянок		
Вручну	1. Взяти деталь. 2. Наживити деталь, закрутити на всю довжину	$T=0,0415L^{0,6}/C^{0,85}$

Таблиця А.1.46

Загорнути гвинт, шуруп з кроком С на довжину Л		Всі типи виробництва
Інструмент	Зміст прийомів	Норма часу, хв.
Пневмо- або електровикрутка	1. Взяти гвинт, шуруп, загорнути на 2-3 нитки 2. Взяти викрутку, встановити у шліц, загорнути гвинт остаточно 3. Перемістити викрутку до наступного гвинта	$T=0,012L^{0,77}/C^{0,44}$
Механічна викрутка		$T=0,0135L^{0,77}/C^{0,44}$
Коловоротна викрутка		$T=0,015L^{0,77}/C^{0,44}$
Ручна слюсарна викрутка		$T=0,012L^{0,88}/C^{0,55}$

Література

1. Овсянников В. Е., Шпитк Г. Н. Основы проектирования и конструирования машин : учебное пособие. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. 75 с.
2. Курмаз Л. В., Курмаз О. Л. Конструирование узлов и деталей машин : справочное учебно-методическое пособие. М. : Высш. Школа, 2007. 455 с.
3. Орлов П.И. Основы конструирования : справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 1. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Машиностроение, 1977. 623 с.
4. Конструирование машин : справочно-методическое пособие в 2-х т. / К. Ф. Фролов, А. Ф. Крайнев, Г. В. Крейнин ; под. общ. ред. К. Ф. Фролова. М. : Машиностроение, 1994. Т. 1. 528 с.
5. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Иосилевич Г. Б. Расчет на прочность деталей машин : справочник. М. : Машиностроение, 1993. 640 с.
6. Elber W. Damage tolerance in aircraft structures. *ASTM STP 486, ASTM*. 1971. Pp. 230–242.
7. Суслов А. Г. Технология машиностроения. М. : Машиностроение, 2004. 400 с.
8. Захаров Б. В., Берсенева В. Н. Прогресивні технологічні процеси і обладнання при термічній обробці металів. М. : Вища школа, 1988 р. 342 с.
9. Кузьмін Б. А. Технологія металів і конструкційні матеріали. М. : Машинобудування, 1981 р. 276 с.
10. Аверченков В. И. Прогресивные технологии : учеб. пособие. Брянск, 1997. 158 с.
11. Голего Н. Л., Алябьев А. Я., Шевеля В. В. Фреттинг-коррозия металов. К. : Техника, 1974. 272 с.
12. Петухов А. Н. Сопротивление усталости деталей ГТД. М. : Машиностроение, 1993. 240 с.
13. Томас К. И., Иляшенко Д. П. Технология сварочного производства : учебн. пос. Томск, изд-во ТПУ, 2011. 247 с.

14. Дедюх Р. И. Теория сварочных процессов. Физические и технологические свойства сварочной дуги : учебн. пос. Томск, Изд-во ТПУ, 2013. 118 с.

15. Иванов А. С.: Конструируем машины шаг за шагом: в 2 ч. 2-е изд., перераб. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. Ч. 1. 328 с.

16. Попов В. Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. М. : Физматлит, 2012. 348 с.

17. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник ; за ред. Г. С. Писаренка. К. : Вища школа, 1993. 655 с.

18. Григорян А. Т., Герц Г. Р., Полак Л. С. Принципы механики, изложенные в новой связи / общая редакция И. И. Артоболевского ; перевод В. Ф. Котова и А. В. Сулимо-Самуйло. Москва : Издательство Академии Наук СССР, 1959. Серия «Классики науки». 374 с.

19. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. М. : Машиностроение, 1978. Т. 1. 728 с.

20. Решетов Д. Н. Детали машин. М. : Машиностроение, 1974. 654 с.

21. Металлические конструкции : справочник проектировщика / под ред. Н. П. Мельникова. М. : Стройиздат, 1980. 776 с.

22. Технологичность конструкции изделия : справочник / Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферов, П. Н. Волков и др. ; под. общ. ред. Ю. Д. Амирова. М. : Машиностроение, 1990. 768 с.

23. ГОСТ 14.201-83. Межгосударственный стандарт. Обеспечение технологичности конструкций изделий. Общие требования. Москва : Стандартиформ, 2006. 8 с.

24. ГОСТ 2.116-84. Карта технического уровня и качества продукции. Москва : Стандартиформ, 2016. 15с.

25. Вибрации в технике : справочник в 6-ти т. / ред. совет В. Н. Челомей (пред.). М. : Машиностроение, 1978. Т. 1. *Колебания линейных систем* ; под ред. В. В. Болотина. 1978. 352 с.

26. Крайнев А. Ф. Машиноведение на языке схем, рисунков и чертежей. М. : Издательский дом «Спектр», 2010. Книга 1. 296 с.

27. Контактное деформирование элементов подшипников буксы колесной пары железнодорожного вагона / И. С. Иванов, Г. И. Осодоев, Л. Б. Цвик, А. В. Кулешов. URL: <http://rcit.su/techinfoD8.html> (дата звернения: 25.08.2019).

28. Вавилов А. В., Котлобай А. А., Котлобай А. Я. Проектирование строительных и дорожных машин : учебно-методическое пособие. Минск : БНТУ, 2013. 392 с.

29. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М. : Машиностроение, 1980. 592 с.

30. Боярская Р. В., Максимович Б. Д., Холодкова А. Г. Проектирование технологических процессов сборки : методические указания по курсовому и дипломному проектированию. М. : Изд-во МУТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 51 с.

31. ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения. Межгосударственный стандарт. Москва : Стандартинформ, 2009. 23с.

32. Материаловедение / Б. Н. Арзамасов, И. И Сидорин, Г. Ф. Косолапов и др. / под ред. Б. Н. Арзамасова. М. : Машиностроение, 1986. 384 с.

33. Навроцкий Д. И. Прочность сварных соединений. Л. : Машгиз, 1961. 175 с.

34. Лабораторные и практические работы по технологии машиностроения : учеб. пособие / В. В. Безъязычный, В. Ф. Непомилуев, А. Н. Семенов и др. ; под общ. ред. В. Ф. Безъязычного. М. : Машиностроение, 2013. 600 с.

Предметний покажчик

А

- Агрегат – 166
- Агрегатування – 18
- Адсорбція – 79
- Азотування – 80
- Активний віброзахист – 138
- Амплітуда – 65

Б

- Базова деталь – 251
- Балка – 208
- Бомбінювання – 160
- Бортові передачі – 173
- Борування – 80

В

- Віброгасій – 138
- Віброзахищеність – 129
- Взаємозамінюваність – 275
- Види віброзахисту – 138
- Види технологічності – 116
- Виробнича технологічність – 116
- Вузол – 195

Д

- Деталь – 195
- Деформація – 35
- Демпфування – 142
- Дифузія – 79

Е

- Ескізний проект – 12
- Експлуатаційна технологічність – 116
- Екструзія – 49

Ж

- Жорсткість – 204

З

- Закон Гука – 97
- Збиральна операція – 188
- Збирання – 249

Збиральна операція – 188
Зварювання – 91
Згин – 95
З'єднання – 185
Зрівноваженість – 129
К
Кількісна оцінка – 118
Класифікація – 175
Коефіцієнт асиметрії циклу – 80
Коефіцієнт використання матеріалу – 121

Коефіцієнт жорсткості – 84
Коефіцієнт точності обробки – 127
Коефіцієнт шорсткості – 23
Компактність – 151
Компаундування – 15
Комплексна нормалізація – 18
Компонування – 18
Конструктивна спадкоємність – 117
Контактна міцність – 107
Конвертування – 18
Конструювання – 8
Концентрація напружень – 69
М
Маса – 38
Матеріалоемкість – 38
Метод базового агрегата – 17
Метод зміни лінійних розмірів – 17
Метод інверсії – 201
Метод секціонування – 17
Механічне зміцнення – 40
Н
Напруження – 22
П
Підгрупа – 194
Піддатливість – 23
Показники – 10

Потужність – 10
Правила конструювання – 105
Пригонка – 190
Принципи конструювання – 148
Проектування – 8
Р
Раціональний переріз – 33
Рівень технологічності – 115
Рівноміцність – 41
Рівнонавантаженість – 151
Розмірний фактор – 74
Ролик – 226
С
Середнє напруження – 65
Силова схема – 148
Стиск – 23
Схема збирання – 197
Сферичні з'єднання – 101
Т
Технічне завдання – 12
Технічний проект – 12
Технічна пропозиція – 12
Технологічність – 114
Технологічний процес – 249
Технологічна раціональність – 116
У
Уніфікація – 17
Уніфіковані ряди – 19
Х
Хромування – 80
Ц
Цементация – 80
Цикл напружень – 60
Циліндричні з'єднання – 103
Я
Якісна оцінка – 117

Навчальне видання

*Налобіна Олена Олександрівна
Бундза Олег Зіновійович
Серілко Дмитро Леонідович
Голотюк Микола Віталійович*

КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ ТА АГРЕГАТІВ

Навчальний посібник

Друкується в авторській редакції

Технічний редактор

Г. Ф. Сімчук