

Розділ 1. Загальні принципи конструювання та розрахунку машин та їхніх елементів

Лекція №1

Тема 1. Основні положення про проектування і конструювання машин та їхніх елементів

1.1. Задачі курсу. Основні поняття і визначення

В курсі «Деталі машин» вивчаються основи проектування деталей та вузлів машин і механізмів, а саме розглядаються методи, правила і норми, за якими деталям надають найвигідніші форми і розміри, вибирають необхідний матеріал, ступінь точності розмірів і якості поверхонь, встановлюють технічні умови на виготовлення. Причому тут розглядаються типові деталі і вузли, які зустрічаються в усіх машинах.

Дисципліна «Деталі машин» відноситься до групи загально інженерних і знаходиться на стику загально технічних і спеціальних дисциплін. Вона тісно пов'язана з теоретичною механікою, ТММ, опором матеріалів, матеріалознавством, технологією машинобудування, технічним кресленням.

Будь-яка машина складається з деталей.

Деталь – частина машини, яку виготовляють без складальних операцій.

Деталі бувають прості (болт, гайка, вісь) і складні (колінчастий вал, диск турбіни, станина верстата).

Деталі поділяються на деталі *загального призначення*, що використовуються майже в усіх машинах (болти, вали, пружини), і *спеціального призначення* (поршні, лопатки турбін, крюки і т.п.). Останні розглядаються в спеціальних курсах.

Вузол – закінчена складальна одиниця, яка включає ряд деталей, що мають загальне функціональне призначення (підшипник, муфта, редуктор)

Складні вузли можуть включати більш прості (підвузли).

Основні вимоги до конструкцій деталей машин: *надійність* та *економічність*.

Надійність – спроможність виробу зберігати в часі свою роботоздатність.

Економічність визначається вартістю матеріалу, затратами на виробництво і експлуатацію.

Затрати на виробництво пов'язані з технологічністю деталі, її точністю.

1.2. Основні критерії роботоздатності деталей

Роботоздатність – стан виробу (машини, деталі), при якому він спроможний виконувати певні функції при збереженні значень параметрів в межах, заданих нормативною документацією.

Основні критерії роботоздатності: міцність, жорсткість, стійкість, стійкість проти зношування (спрацювання), корозійна стійкість, теплостійкість, вібростійкість.

Міцність – здатність деталі витримувати певне навантаження, не руйнуючись. Це головний критерій роботоздатності.

Руйнування деталі спричиняє простої, нещасні випадки.

Причини руйнування: 1) втрата статичної міцності; 2) втрата опору втомі; 3) втрата контактної міцності.

Втрата статичної міцності - робоче напруження перевищує границю статичної міцності. Це можливо при перевантаженні, яке не враховане в розрахунках, або при наявності схованих дефектів (раковин, тріщин).

Втрата опору втоми – довготривала дія змінних напружень, що перевищує границю витривалості матеріалу, неврахування концентрації напружень, пов'язаною з формою деталі або дефектами виробництва (подряпини, тріщини і т.п.).

Якщо контактні напруження більші за допустимі, то на поверхні деталі можуть виникнути вм'ятини, борозни, дрібні раковини. Це спостерігається на поверхнях зубців зубчастих коліс, на бігових доріжках кілець підшипників.

Умови міцності: $\sigma \leq [\sigma]$; $\tau \leq [\tau]$.

Жорсткість – здатність конструкції чинити опір деформуванню. Розрахунок на жорсткість передбачає обмеження пружних переміщень допустимими величинами. Значення допустимих переміщень обмежене умовами роботи спряжених деталей (зачеплення зубчастих коліс, робота підшипників при згині валів), технологічними вимогами (точність обробки на верстатах).

Розрізняють *власну* жорсткість деталі, обумовлену деформаціями всього матеріалу деталі і *контактну* жорсткість, яка пов'язана з деформаціями поверхневих шарів матеріалу в зоні контакту деталі.

Якщо площа контакту мала, контактні деформації суттєві, і їх розрахунок виконують за формулами Герца.

При великій контактній площі деформації, зумовлені змінанням мікронерівностей, визначають за емпіричними формулами з використанням експериментально встановлених коефіцієнтів контактної податливості.

Умови жорсткості: $\Delta l \leq [\Delta l]$, $\varphi \leq [\varphi]$, $\theta \leq [\theta]$, $f < [f]$.

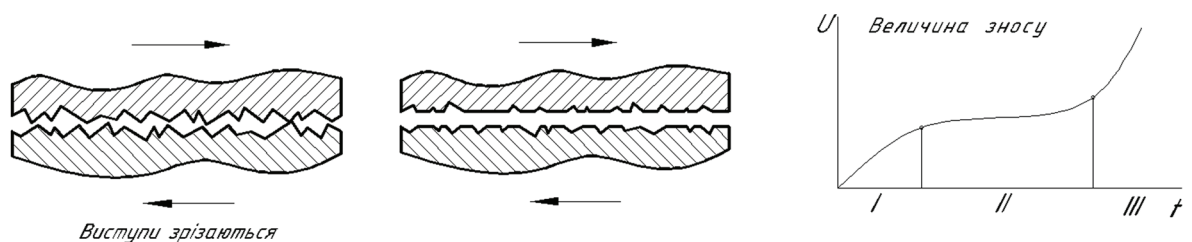
Зносостійкість. Зношування – процес поступової зміни розмірів деталі в результаті тертя. При цьому збільшуються зазори в підшипниках, зубчастих зачепленнях, циліндрах поршневих машин. В результаті – зниження точності, потужності, надійності, коефіцієнта корисної дії. При несвоєчасному ремонті – поломки, аварії. 85-90% машин виходять з ладу в результаті зношування. Для багатьох типів машин за період експлуатації затрати на ремонт у зв'язку із зношуванням у декілька разів перевищують вартість нової машини.

Строк служби деталі поділяється на 3 періоди:

I) припрацювання (виступи зрізаються);

II) період нормальної експлуатації;

III) катастрофічне зношування (за рахунок збільшення зазорів, динамічності навантаження, через наклеп – поверхневі шари стають крихкими і руйнуються).



Наука, що вивчає всі питання, пов'язані з тертям та спрацюванням деталей, називається *триботехніка*.

Корозійна стійкість. Корозія – процес постійного руйнування поверхневих шарів металу в результаті окислення. Окислювальне середовище: повітря, пара, вода, гази, розчини лугів. Через корозію втрачається до 10% металу, що виплавляється. Корозія особливо небезпечна для поверхонь тертя і деталей, що працюють при змінних напруженнях. При цьому суттєво скорочується зносостійкість і опір втомі.

Корозійно-механічне зношування є *окислювальним* і типу *фретінг-корозії*.

Окислювальне зношування – руйнування окисних плівок, що утворюються на поверхнях тертя.

Корозійно-механічне зношування, що виникає при дуже малих циклічних відносних зміщеннях спряжених поверхонь без видалення продуктів зносу із зони контакту, називається *френтінг-корозією*. Вона характерна для посадки підшипників на вали, в шпонках та ін.

Захист від корозії: антикорозійні металеві покриття, покриття фарбами, лаками, виготовлення деталей із корозійностійких матеріалів (нержавіючі сталі, пластмаси та ін.).

Розрахунків на довговічність за корозією немає.

Теплостійкість - це здатність елементів машин не втрачати своїх експлуатаційних показників при змінах температури.

Виділення теплоти пов'язане з робочим процесом машин (турбіни, двигуни внутрішнього згорання) та тертям у рухомих з'єднаннях машин.

Нагрівання спричиняє наслідки:

1. Зменшення несівної здатності деталей внаслідок зниження їх механічних характеристик та виникнення явища повзучості. У деяких випадках (котли, лопатки і диски парових турбін) повзучість стає головним критерієм роботоздатності.
2. Зменшення захисної здатності мастильного шару, що розділяє деталі, які працюють в умові тертя і, як наслідок, - прискорення зношування та заїдання.
3. Зміна зазорів у рухомих з'єднаннях може спричинити заклинювання деталей та аварійний вихід машин з ладу, зменшення точності.

Щоб не допустити негативних наслідків, проводять теплові розрахунки, використовують теплостійкі матеріали, охолодження.

Вібростійкість – це здатність працювати конструкції в заданому діапазоні експлуатаційних режимів без недопустимих коливань.

Причини коливань (вібрацій) – недостатня жорсткість елементів машин, невірноваженість обертових деталей, особливості робочих процесів у машинах.

Віб्राції спричиняють: втомне руйнування, зменшення надійності різьбових і пресових з'єднань, самовідгвинчування різьбових деталей, зменшення точності обробки, наприклад, на верстатах, руйнування будівельних споруд, де розміщені машини.

Шкідливу дію коливань можна зменшити: підвищенням точності виготовлення деталей, підвищенням їх жорсткості, застосуванням матеріалів з підвищеним внутрішнім тертям, спеціальним покриттям, використанням амортизаторів, демпферів тощо.

Лекція 2

1.3. Технологічність деталей машин

Основа економічності конструкції – її технологічність.

Технологічною називають таку конструкцію, яка забезпечує задані експлуатаційні показники при найменших затратах (часу, засобів, праці) на її створення в конкретних умовах даного виробництва.

При конструюванні виробів необхідно передбачити можливий метод одержання заготовки кожної деталі, особливості механічної і термічної обробки (а деколи і фарбування), а також складання, тобто враховувати існування зв'язку між конструкцією виробу і технологією її виготовлення.

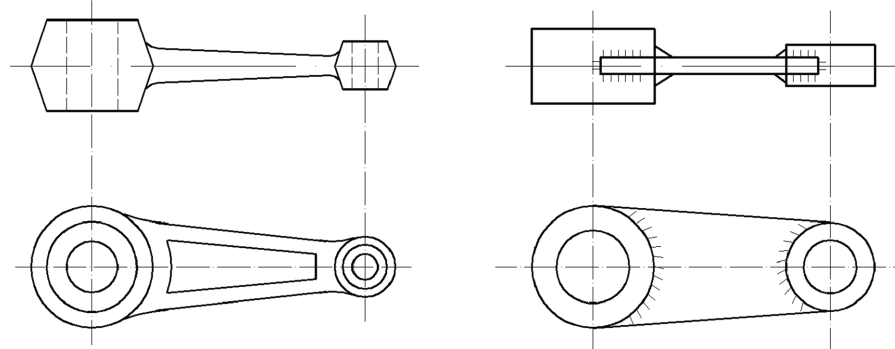
Основні вимоги до конструкції деталей з точки зору її технологічності:

1 Відповідність конструкції деталі масштабу випуску і умовам виробництва (технології одержання заготовок і механічної обробки)

Технологічний процес залежить від об'єму випуску виробів (масштабу виробництва). При одиничному і дрібносерійному виробництві використовують універсальне обладнання, простий інструмент, відсутні спеціальні пристрої. Звідси - зварні деталі простої форми, поковки, одержані ковкою, використання приганяльних операцій під час складання (підрубка, припилювання).

При крупносерійному і масовому виробництві – спеціальне обладнання, спеціальні пристрої, спеціальний інструмент, точне литво, штампування, висаджування, чеканка. Приганяльні операції небажані.

Таким чином, існує зв'язок: конструкція виробу – технологія виготовлення – масштаби виробництва.



Литво, штамповка (масове виробництво)

Зварка (одинарне виробництво)

2. Простота і доцільність конструкції. Бажано використовувати найбільш прості циліндричні і плоскі поверхні і їх комбінації.

3. Раціональний вибір заготовок. Форма заготовки повинна бути найбільш наближена до форми деталі.

Основні види заготовок : 1) відливки з чавуну, сталі, кольорових металів; 2) прокат; 3) поковки із сталі (вільна ковка, штамповка); 4) пресування; 5) зварні з'єднання.

Відливки – для деталей складної форми, точне литво дає ще досить високу точність.

При пресуванні і штампуванні - деталі більш складної форми і більш точні, ніж при куванні.

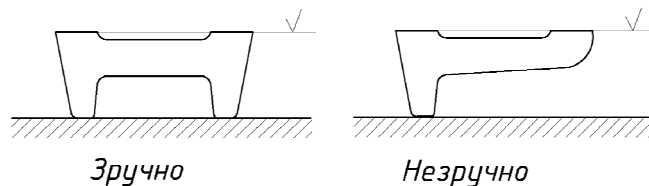
При холодному штампуванні і пресуванні – велика продуктивність праці, економічність, точність розмірів, чистота поверхні, часто не потрібно додаткової обробки.

Зварювання використовується для виготовлення деталей, елементами яких є листи, штаби, кутники, швелери, двотаври (станіни, рами, шківів, барабани).

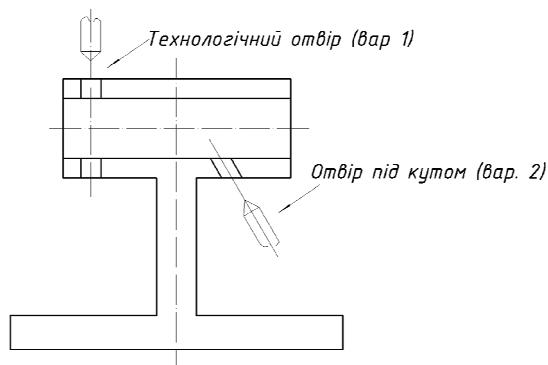
Використовують комбінацію штампування і зварювання.

4. Задоволення вимог технології механічної обробки.

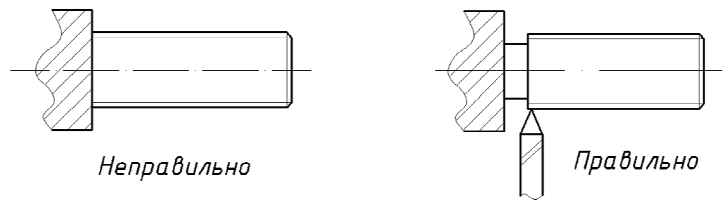
а) Створення зручних баз для установки і закріплення деталі в пристрої або на столі верстату



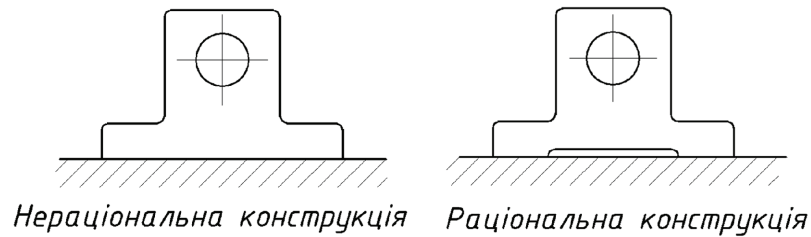
б) Забезпечення легкого доступу до оброблювальної поверхні як ріжучого, так і вимірювальних інструментів.



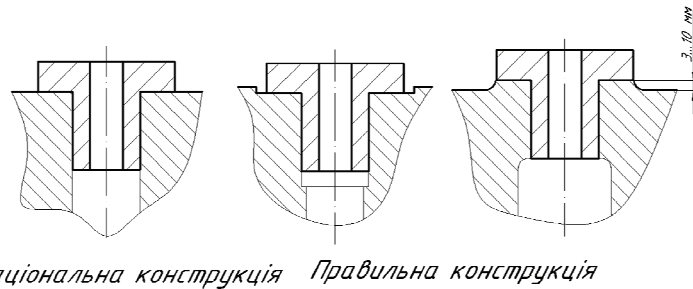
в) Передбачення виходу інструменту у кінці різання.



г) Зменшення розмірів оброблювальних поверхонь і раціонально їх розташувати.

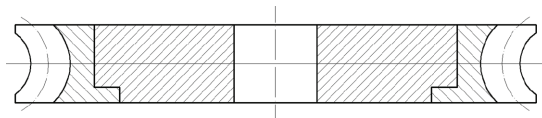


Оброблювальні поверхні необхідно робити вище не оброблювальних на 3...10 мм.



5. Економний розхід матеріалу.

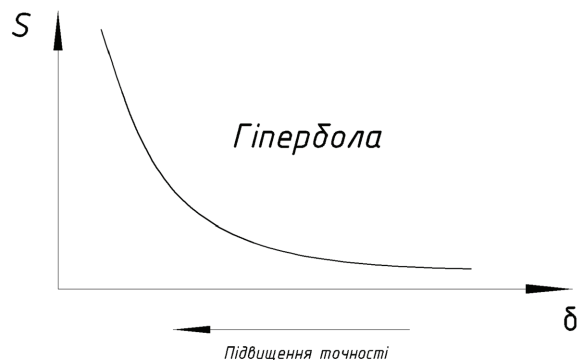
Це досягається раціональним розподіленням матеріалу, введенням ребер жорсткості. В мало навантаженій зоні деталі роблять вікна, виїмки для більш рівномірно навантаження матеріалу. Замість металу – пластмасу, сталі – чавун. Використання збірних конструкцій. Наприклад, у черв'ячному колесі центр - з чавуну, вінець - із бронзи.



6. Раціональні точність виготовлення і чистота оброблюваної поверхні.

Підвищення точності -> підвищення трудомісткості -> підвищення вартості виготовлення.

S – затрати на виробництво
 δ – допуск на виготовлення



1.4. Вибір матеріалу для деталей машин

Вибір матеріалу – відповідальний момент в процесі проектування. Для цього потрібно знати властивості різних матеріалів і вимоги, які висувають до них умовами роботи і виготовлення даної деталі.

При виборі матеріалу потрібно врахувати наступні фактори:

- 1) *експлуатаційний* – властивості матеріалу повинні відповідати умовам роботи деталі в машині (зносостійкість, антикорозійна стійкість, теплостійкість тощо);
- 2) *технологічний* – властивості матеріалу повинні відповідати способу виготовлення деталі і забезпечувати мінімальну трудомісткість виготовлення, (ливарні властивості, обробка різанням, ковкість);
- 3) *економічний* – матеріал повинен бути вигідним з врахуванням усіх затрат, пов'язаних з вартістю матеріалу, затрат на виготовлення та експлуатацію машини.

Правильний вибір матеріалу можна зробити на основі зіставлення декількох варіантів. Обґрунтований вибір матеріалу з врахування всіх факторів – складна технологічна задача.

Розглянемо властивості основних класів матеріалів.

Сірий чавун (СЧ) – основний ливарний матеріал, високі ливарні і задовільні механічні властивості, крихкий, не оброблюється тиском, слабо чинить опір динамічному навантаженню, дешевий.

Для відповідальних матеріалів - високоміцний (ВЧ) [добавка магнію] чавун – високі механічні властивості.

Антифрикційні чавуни (АЧС) – вкладиші для підшипників (у структурі – вільний графіт як мастильний матеріал).

Вуглецеві сталі звичайної якості (Ст3, Ст4 ...) - дешеві сталі, широко застосовуються для металоконструкцій (ферми, рами тощо) а також деталей (болти, гайки, тяги тощо)

Якісні вуглецеві сталі (сталь 45, 50, 20Г, 30Г) – використовують у більшості випадків в термообробленому стані (вали, осі, зубчасті колеса, важелі, траверси) – висока міцність, невисока вартість, невисока корозійна стійкість.

Леговані конструкційні сталі – використовують для особливо відповідальних деталей машин, які повинні мати високу міцність або проявляти особливі фізико-механічні властивості (корозійну стійкість, жароміцність та ін.)

Мідні сплави (латуні і бронзи) – висока антикорозійна стійкість і високі антифрикційні властивості. Застосовують для виготовлення деталей, що працюють в корозійному середовищі, деталей вузлів тертя.

Виготовляються литтям, обробкою тиском, добре обробляються різанням.

Алюмінієві і магнієві сплави – мала питома вага, високі показники міцності. Деталі виготовляються литтям (АЛ), обробкою тиском (дюралюміні). Використовуються в авіації і загальному машинобудуванні.

Титанові сплави – мала питома вага, висока міцність, корозійна стійкість і жароміцність.

Неметалеві матеріали (пластмаси) – стійкі проти впливу агресивних середовищ, задовільні характеристики міцності. Одні мають – фрикційні властивості, інші – антифрикційні.

Недоліки: низька теплостійкість, старіння, вологопоглинання.

Використовують пластмаси для зниження маси машини, економії кольорових металів і сплавів, зниження трудомісткості і собівартості продукції.

Порошкові матеріали – виготовляються пресуванням і спіканням порошку в прес-формах. Одержують матеріали з різними властивостями: високоміцні, зносостійкі, антифрикційні. Деталі не потребують механічної обробки різанням.

Лекція №3

1.5. Поняття про проектування і конструювання

Проектування і конструювання – це види розумової діяльності, пов’язаної зі створенням нового виробу (машини, пристрою, системи). Мета в них одна. Однак проектування і конструювання – різні процеси.

Інженерне проектування передуює конструюванню і є пошуком науково обґрунтованих, технічно здійснених та економічно доцільних рішень.

За допомогою виконання розрахунків експлуатаційних параметрів, розрахунків на міцність, надійність і економічність вибирається оптимальний варіант, уточнюється конструктивна форма об’єкта.

Результат проектування – проект створюваного об’єкта. Проект обговорюється, аналізується, коректується і приймається як основа для подальшого опрацювання.

Конструювання – створення конкретної однозначної конструкції об’єкта згідно з проектом. Конструкція – це побудова, взаємне розміщення частин і елементів машин. Вона передбачає спосіб з’єднання, взаємодію частин, а також матеріал, з якого виготовляються окремі елементи.

Конструювання базується на результатах проектування і уточнює всі інженерні рішення, прийняті при проектуванні.

Проектування і конструювання є процесами взаємопов’язаними і доповнюють один одного.

Проектування і конструювання – творчий процес. Кожна задача – має багато розв’язків. Потрібно вибрати найкращий.

Під час проектування і конструювання вирішуються одночасно дві задачі:

- створення надійної машини, що відповідає експлуатаційним вимогам.
- створення машини найбільш економічної у виготовленні і експлуатації.

1.6. Основні етапи створення нових машин

1. Технічне завдання (ТЗ) є основою для розробки нової машини. Розробляється замовником.

2. Технічна пропозиція (ТП) – початкова стадія проектування є відповіддю проектувальника на технічне завдання.

Про розробці ТП виконують наступні роботи:

- а) Виявляються варіанти можливих рішень.
- б) Перевіряються варіанти на патентну чистоту і конкурентну здатність, перевіряється відповідність варіантів вимогам технічної безпеки і виробничої санітарії.
- в) Дається порівняльна оцінка варіантів (надійність, економічність, естетика, ергономіка, технологічність, стандартизація і уніфікація). Можуть бути виготовлені макети.
- г) Вибір оптимального варіанту виробу, обґрунтування вибору, встановлення вимог до вибору.

3. Ескізний проект – розробляється з метою доведення оптимального варіанту до рівня принципових конструкторських рішень, які дають загальне уявлення про побудову і принцип роботи об’єкта.

Креслення загального вигляду виконуються з максимальними спрощеннями. Складові частини виробу, особливо покупні, раніше розроблені, зображаються деколи у вигляді контурних обрисів. Головне, щоб була зрозуміла конструкторська побудова виробу і взаємодія його складових частин, принцип роботи. Вибираються типові

стандартизовані, уніфіковані складові частини об'єкта. Уточнюється вимоги до окремих вузлів, розробку і виготовлення яких доцільно доручити іншим організаціям.

4. Технічний проект – виконується після ескізного проекту і містить сукупність конструкторських документів, які дають повне і остаточне технічне вирішення проблеми. Він містить дані, що дають повне уявлення про побудову всього об'єкта, і його складових частин, принцип роботи і взаємодію основних елементів, технологічність, способи упаковки, транспортування, монтажу на місці, експлуатації і ремонту.

5. Робоча конструкторська документація (Р.к.д) – це робочі креслення деталей і складальні креслення вузлів.

Р.к.д. потрібна для виготовлення дослідного зразка або початкової серії виробу.

На стадії розробки Р.к.д. завершується відпрацювання конструкції на технологічність виготовлення і складання.

Наявність всіх стадій не завжди є обов'язковою. Часто окремі стадії об'єднуються і таким чином скорочується час проектувальних робіт.

1.7. Основні вимоги до проекту машин

Готовий проект машини повинен задовольняти певним технічним вимогам.

- 1) Обґрунтоване використання кожного механізму, кожної деталі механізму. (використання черв'ячних передач, зубчатих передач, підшипників, виточок і уступів на валу, тощо).
- 2) Технологічність деталі – відповідність конструктивних форм деталей технології одержання заготовок і технології механічної обробки в конкретних умовах виробництва. Технологічність конструкції забезпечується мінімальним числом деталей, простотою конструктивних форм і малою трудомісткістю.

Проста конструкція – це машина, виготовлена з найменшої кількості простих деталей мінімальної маси при найбільш зручному їх виготовленні і збиранні.

- 3) Задоволення основних вимог технології збирання і розбирання: зручність збирання, регулювання і розбирання, зменшення об'єму ручних, пригоночних операцій, зменшення циклу збирання.

Для зручності збирання – вільний доступ до всіх деталей, доступ інструменту до кріпильних деталей, можливість виконання необхідних вимірювань при збиранні.

Для зручності регулювання – різьбові отвори, вікна і т.д.

Для зручності розбирання – можливість знімання поставлених деталей. Для цього, де можна, важкі деталі сполучати по конічній поверхні, передбачати різьбові отвори для знімання деталей.

Зменшення пригоночних операцій – розрахункове обґрунтуванням допусків, раціональна конструкція компенсаційних елементів.

Найменший цикл збирання – можливість паралельного збирання окремих вузлів, обкатка, перевірка.

- 4) економний розхід матеріалу - введення ребер жорсткості, раціональне розподілення матеріалу, в мало навантаженій зоні деталі – вікна, виїмки для більш рівномірного навантаження матеріалу, використання більш дешевого матеріалу, використання збірних конструкцій (сталь – бронза, чавун - сталь).
- 5) Широке використання стандартних вузлів і деталей: муфти, гальма, підшипники, насоси, фільтри.
- 6) Надійність змащування всіх поверхонь деталей, що труться.

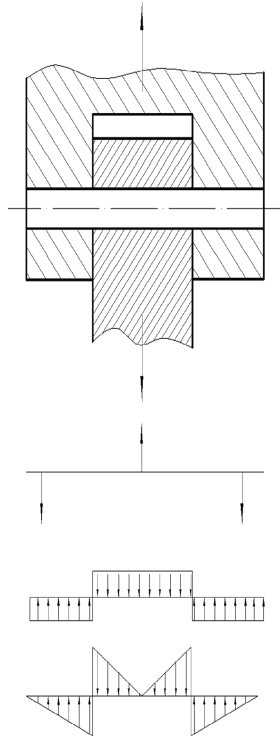
Зручність заповнення і зливу мастила з масляних ванн, контроль рівня мастила, забезпечення підводу мастила до вузлів.

- 7) Забезпечення достатніх відстаней між деталями (щоб не торкались, і не були великі габарити).

- 8) Задоволення вимог техніки безпеки і промислової санітарії (можливість миттєвої зупинки, захисні щити, запобіжні пристрої, відсутність шкідливих вібрацій, шумів, випромінювань, газів тощо).

1.8. Послідовність проектування деталей машин

1. Складають розрахункову схему, в якій максимально спрощують конструкцію деталі і характер її сполучення з іншими деталями. Варіантів розрахункових схем може бути декілька.



2. Визначають навантаження на деталь.

3. Вибирають матеріал деталі із певними фізичними характеристиками з урахуванням можливості його обробки та економічних факторів.

4. Розраховують найбільш характерні розміри деталі за критеріями роботоздатності, які в даному випадку є вирішальними.

Ці розрахунки є попередні, тому що базуються на спрощених схемах. Невідомі точно форма (конструкція) і розміри (масштабний фактор) деталі. Цими розрахунками визначаються вихідні для проектування деталі і вузла розміри. Тому вони називаються проектними.

5. Креслять деталь в загальному виді вузла, а потім проводять деталіровку, тобто детальну конструктивну розробку деталі.

6. Проводять перевірні розрахунки за основними критеріями роботоздатності. При необхідності в конструкцію вносять зміни.

Оскільки потрібно знайти оптимальне рішення, доводиться розробляти декілька варіантів конструкцій і їх зіставляти.