

РОЗДІЛ І ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

1.1 Поняття про машини, механізми та деталі

Машиною називають пристрій, який виконує механічний рух для перетворення енергії, матеріалів та інформації. В залежності від призначення розрізняють енергетичні, робочі та інформаційні машини.

Енергетичні машини (машини-двигуни) призначені для перетворення будь-якого виду енергії у механічну. До енергетичних машин відносяться двигуни внутрішнього згоряння, електричні двигуни, електрогенератори, парові машини, компресори тощо.

Робочі машини призначені для заміни або полегшення фізичної праці людини при виконанні нею роботи із зміни форми, властивостей, стану, розмірів та положення оброблюваних матеріалів, транспортування вантажів тощо. Робочі машини діляться на технологічні та транспортні. Технологічні машини виконують всі функції робочих машин, крім транспортування вантажів. До технологічних машин відносяться верстати для оброблювання різного виду матеріалів, прокатні стани, ткацькі верстати, пакувальні машини тощо.

Транспортні машини лише змінюють положення вантажу у просторі без зміни його фізичного стану. До транспортних машин відносяться різного виду автомобілі, тепловози, повітряні та морські судна, гелікоптери тощо.

Частина машини, в якій реалізується робочий процес шляхом виконання певних механічних рухів називається механізмом. Механізм здійснює передавання енергії (руху) від джерела (двигуна) до робочих органів машини із перетворенням сил і характеристик закону руху.

Будь-який технічний об'єкт або їх сукупність, як машини в цілому, так і їх складові компоненти, що виготовляються на підприємстві, називають технічним виробом. Стандарт ГОСТ 2.101-68 встановлює такі види виробів: деталі, складальні одиниці, комплекси, комплекти.

Деталь – це технічний виріб, який виготовлено без використання складальних операцій або з використанням місцевих з'єднувальних операцій (зва-

рювання, паяння, склеювання тощо) чи виконанням декоративного або захисного покриття. Деталі можуть бути простими, наприклад, гайка (рис. 1.1), гвинт, шпонка або скла-



Рис. 1.1. Гайка



Рис. 1.2. Колінчастий вал

дними, наприклад, колінчастий вал (рис. 1.2), корпус редуктора, станина верстата.

Деталі, які зустрічаються практично у всіх машина і мають однакове функціональне призначення, називають деталями загального призначення. Такі деталі вивчаються в курсах «Основи конструювання машин», «Деталі машин», «Прикладна механіка».

Складальна одиниця (вузол) – це технічний виріб, складові частини якого мають спільне функціональне призначення і підлягають з'єднанню між собою на підприємстві за допомогою складальних операцій, наприклад, за допомогою згвинчування, паяння, пресування. Складальні одиниці можуть бути простими, наприклад, підшипник кочення (рис. 1.3), муфта або складними, наприклад, вал із насадженими на нього зубчастими колесами, зубчастий редуктор (рис. 1.4).

Комплекс – це технічний виріб, який складається з окремих виробів, не з'єднаних складальними операціями на підприємстві і призначених для виконання взаємопов'язаних екс-



Рис. 1.3.
Радіальний
кульковий
підшипник

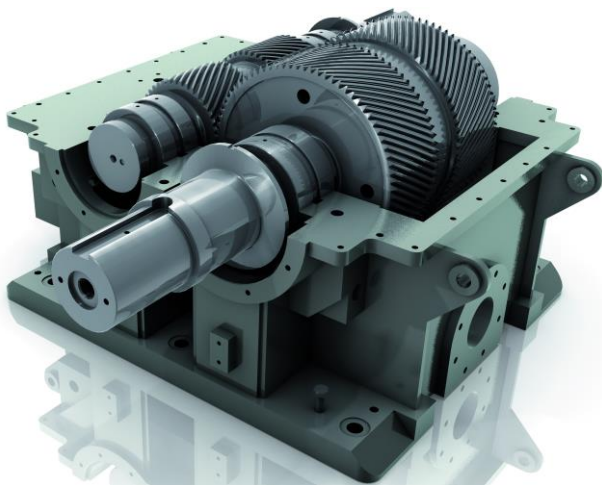


Рис. 1.4. Одноступінчастий редуктор з шевронною передачею

плуатаційних функцій, наприклад, лінія металообробних верстатів для виготовлення певних виробів.

Комплект – це кілька технічних виробів загального функціонального призначення допоміжного характеру, не з'єднаних на підприємстві складальними операціями (наприклад, комплект запасних частин).

1.2 Зміст понять проектування і конструювання машин

Проектування - це процес створення машини на базі наукової та технічної інформації. Результатом процесу проектування є проект, тобто технічна документація для виготовлення машини.

Конструювання - це створення конструкції машини згідно з проектом. Конструкція - це будова машини, взаємне розміщення її частин і елементів згідно із їх призначенням. Конструкція машини визначає характер взаємодії частин і елементів машини, спосіб з'єднання цих елементів, матеріал деталей машин тощо.

Завданням проектування та конструювання є створення таких машин, які відповідають потребам народного господарства, дають максимальний економічний ефект при їх використанні і мають високі техніко-економічні та експлуатаційні показники.

Головними техніко-економічними та експлуатаційними показниками машин є: висока продуктивність, економічність, надійність, малі маса, металомісткість і габарити, низькі енергоємність, обсяг і вартість ремонтних робіт, витрати на заробітну платню операторів, високий технічний ресурс і ступінь автоматизації, простота і безпека обслуговування, зручність керування, складання, розбирання. Значення цих показників залежить від функціонального призначення машин: наприклад, у машинах-генераторах і перетворювачах енергії головним техніко-економічним та

експлуатаційним показником є коефіцієнт корисної дії (к.к.д.); у машинах-знарядях - продуктивність, економічність, надійність; у металорізальних верстатах - продуктивність, точність обробки; у приладобудуванні - чутливість, точність; у транспортній техніці - маса, к.к.д.

1.3 Економічні основи проектування та конструювання машин

При проектуванні і конструюванні машин будь-якого функціонального призначення найбільш важливим фактором є економічний і його необхідно обов'язково урахувати. Цей фактор враховується для всього комплексу техніко-економічних та експлуатаційних показників, при цьому важливо звертати особливу увагу на їх відносні значення.

Будь-яка машина проходить три стадії її існування: проектування, виготовлення на підприємстві та експлуатація на виробництві.

Зниження вартості проектування та виготовлення машини є комплексним завданням: конструкторським і виробничим.

Головне конструкторське завдання полягає в тому, щоб забезпечити високий потенціал розвитку машини. Це дозволить виготовляти одну і ту ж модель машини тривалий час при найбільш можливому масштабі випуску. Велике значення має зменшення кількості типорозмірів машин, що можна досягти раціональним вибором типу та її параметрів. На вартість машини значно впливає уніфікація і стандартизація агрегатів, вузлів, деталей.

Важливо забезпечити технологічність конструкції. Під технологічністю розуміють сукупність ознак, які забезпечують найбільш економічне, швидке і продуктивне виготовлення машин з використанням прогресивних методів обробки при одночасному підвищенні якості, точності і взаємозамінності частин. До цього поняття входять також ознаки складання виробу, зручного та економічного ремонту. Технологічність залежить від масштабу і типу виробництва.

Рішення виробничого завдання залежить від раціоналізації виробництва: механізації та автоматизації виробничих процесів, концентрації, спеціалізації і кооперації виробництва.

Необхідно відзначити, що вартість проектування та виготовлення машини не є головною частиною загальних витрат на її створення та експлуатацію. Головним показником, який необхідно при цьому забезпечити, є економічний ефект, що визначається корисною віддачею машини і сумою експлуатаційних витрат за весь період існування машини. Корисна віддача виражається вартістю продукції або корисної роботи, яку виконує машина за одиницю часу. Корисна віддача залежить від продуктивності машин, тобто від кількості операцій, які вона виконує за одиницю часу, і від вартості операцій.

Підвищення корисної віддачі є комплексним завданням, рішення якого залежить від точності проектування і правильності експлуатації машини. В основному це завдання вирішують конструктивними методами.

Головними способами підвищення продуктивності машин є: 1) збільшення кількості операцій, які виконуються машиною над певним виробом одночасно; 2) збільшення кількості виробів, які обробляються машиною одночасно; 3) скорочення тривалості технологічного циклу виготовлення виробу; 4) автоматизація технологічного процесу.

Перший спосіб реалізується на металорізальних верстатах, в багаторізцевих токарних автоматах, де деталь одночасно обробляють по декількох поверхнях. Другий спосіб реалізується в роторних машинах, на яких одночасно обробляється велика кількість деталей.

1.4 Загальні відомості про стандартизацію при проектуванні та конструюванні деталей машин

Стандартизацією називається призначення обов'язкових норм, яким повинні відповідати типи, параметри та якісні характеристики технічних виробів.

Державна система стандартизації України має такі категорії стандартів: державні стандарти України (ДСТУ), галузеві стандарти (ГСТ), стандарти підприємств (СТП); використовуються міжнародні стандарти. Поки ще на території України мають силу деякі державні стандарти СРСР (ГОСТ) і стандарти РЕВ (СТ СЭВ).

Стандартизація заснована на використанні спеціально підібраних чисел, яким необхідно віддавати перевагу в усіх галузях машинобудування. Одержані при розрахунках деталей машин лінійні розміри (діаметри, довжини, висоти тощо) необхідно округляти (як правило, в більшу сторону) до чисел, яким необхідно віддавати перевагу згідно вимог стандартів.

Числа, яким необхідно віддавати перевагу, та їх ряди наведено в стандарті СТ СЭВ 514-77 або ГОСТ 6636-69.

1.5 Стандартні ряди чисел у машинобудуванні

Основою стандартизації в машинобудуванні є використання рядів чисел, які підлягають деяким закономірностям. Такі ряди будуються на основі арифметичної або геометричної прогресії.

У рядах чисел на основі арифметичної прогресії кожний член ряду a_k створюється складанням попереднього члена ряду a_{k-1} з постійним числом - різницею прогресії τ . Арифметичні ряди чисел характеризуються відносною нерівномірністю - їх верхні області насичені градаціями розмірів більше, а нижні області - менше.

У рядах, створених на основі геометричної прогресії, кожен член ряду a_k одержується множенням попереднього члена ряду на постійну величину - знаменник прогресії q . При цьому будь-який член ряду $a_k = a_1 \cdot q^k$, де k - порядковий номер члена ряду. Із зменшенням знаменника прогресії q інтервали між членами ряду зменшуються, кількість членів ряду зростає, ряд буде більш роздібненим.

Діючий стандарт встановлює п'ять рядів чисел, яким необхідно віддавати перевагу, і які мають знаменник геометричної прогресії $\varphi = \sqrt[n]{10}$, де n - ступінь кореня, який дорівнює 5, 10, 20, 40, 80. Ці числа разом із буквою R складають позначення основно-

го ряду: $R5(\varphi = \sqrt[5]{10})$; $R10(\varphi = \sqrt[10]{10})$; $R20(\varphi = \sqrt[20]{10})$; $R40(\varphi = \sqrt[40]{10})$; $R80(\varphi = \sqrt[80]{10})$.

Приклад основних рядів в діапазоні 10...600 мм із знаменником $R5$, $R10$, $R20$ та $R40$ згідно СТ СЭВ 514-77 приведено в табл. 1.1.

Похідні ряди чисел одержують із основних рядів шляхом множення першого члена ряду на число будь - якого із основних рядів ($R5$; $R10$ та ін.) до одержання значення $10a$, яке в свою чергу множать на числа того ж основного ряду і т. д.

Таблиця 1.1.

Приклад рядів чисел, яким необхідно віддавати перевагу

Найменування ряду	Приклади нормальних лінійних розмірів, мм (числа, яким необхідно віддавати перевагу)
$R5$	10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; ...
$R10$	10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; ...
$R20$	10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 220; 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500; 600; ...
$R40$	10; 10,5; 11; 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 53; 56; 60; 63; 67; 71; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 240; 250; 260; 280; 300; 320; 340; 360; 380; 400; 420; 450; 480; 500; 560; 600; ...

Прикладом похідного ряду, одержаного на основі ряду $R5$, є ряд 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1000. Можна одержати похідний ряд й іншим способом.

Нормальні лінійні розміри за ГОСТ 6636-69 одержано на базі основних рядів. Наприклад, лінійні розміри, одержані на основі ряду $R5$: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100.

Стандартні лінійні розміри раціонально використовувати для поверхонь, які підлягають точній механічній обробці.

На основі нормальних лінійних розмірів установлюють ряди діаметрів дроту, прутків, товщини листового прокату, лінійних розмірів перетинів фасонного прокату.

ГОСТ 6636-69 охоплює лінійні розміри в інтервалі 0,001... 20000 мм.

1.6 Параметричні ряди машин

Параметричними називають ряди машин однакового призначення з регламентованими конструкцією показниками і градаціями показників.

Якщо в основі ряду лежить один тип машини, а необхідні градації одержують шляхом зміни її розмірів, то ряд називають розмірноподібним. Якщо для кожної градації встановлюють свій тип машини із своїми розмірами, то ряд називають типорозмірним.

При проектуванні параметричних рядів машин головне значення має правильний вибір типу машини, кількості членів ряду, інтервалів між ними. При цьому потрібно враховувати обсяг використання різних членів ряду, імовірні в експлуатації режими роботи машин, ступінь гнучкості і пристосованості машин даного класу. В діапазоні параметрів, які використовуються найбільш часто, необхідно збільшувати кількість членів ряду; в діапазоні параметрів, які використовуються рідко, необхідно розширяти інтервали між членами ряду (приклад: графік використання трифазних електродвигунів показано на рис. 1.5).

Показники розмірноподібних машин залежать від геометричних розмірів машин і від параметрів робочих процесів. Для збереження повної подібності машин необхідно мати геометричну подібність (рис. 1.6) і подібність робочого процесу. Розмірноподібні ряди необхідно будувати на основі головних характеристик ма-

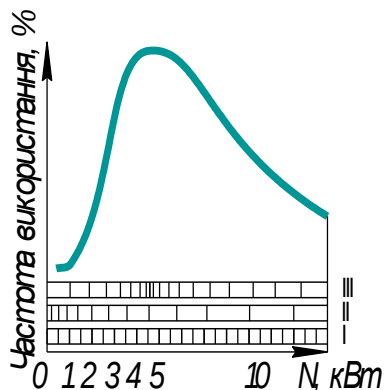


Рис. 1.5. Графік використання трифазних електродвигунів

шин - потужності, продуктивності і т. п., а не на основі геометричних параметрів.

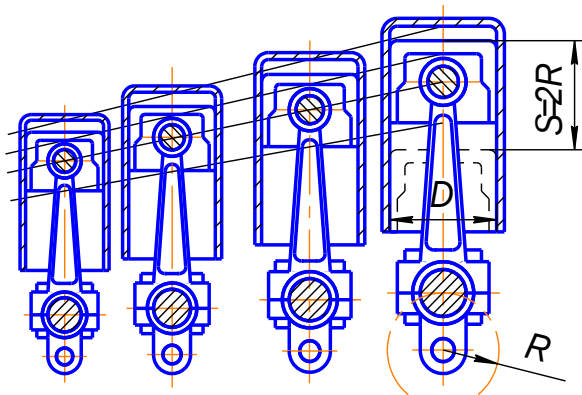


Рис. 1.6. Циліндрично-поршнева група двигунів внутрішнього згорання

Контрольні запитання

1. Що називається технічним виробом?
2. Дайте визначення терміну “деталь”.
3. Що таке “складальна одиниця”?
4. Що таке “комплекс”?
5. Що таке “комплект”?
6. Роз’ясніть зміст поняття “проекткування”.
7. Роз’ясніть зміст поняття “конструювання”.
8. Що є задачею проектування та конструювання?
9. Назвіть головні техніко-економічні та експлуатаційні показники машин.
10. В чому сутність економічних основ проектування та конструювання машин?
11. Що таке “корисна віддача машини”?
12. Як вирішується задача зниження вартості створення машин?

13. Що таке “технологічність конструкції”?
14. В чому сутність конструктивної спадкоємності при проектуванні та конструюванні машин?
15. В чому сутність стандартизації при проектуванні та конструюванні машин?
16. За рахунок чого зменшують номенклатуру об'єктів виробництва?
17. Що таке параметричний ряд? Які існують параметричні ряди?
18. Які стандартні ряди чисел використовуються в машинобудуванні?
19. Дайте характеристику основним і похідним параметричним рядам.
20. Що таке “нормальні лінійні розміри”?
21. Що таке «розмірноподібний» та «типорозмірний» ряд машини”?

2 МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОЦІНКА МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

2.1 Загальні положення

До основних механічних характеристик конструкційних матеріалів при їх статичному навантаженні відносять:

Міцність - властивість деталей машин чинити опір навантаженню без руйнування. Це головний критерій працездатності.

Деформативність - здатність змінювати розміри і форму без руйнування.

Пружність - здатність деталей відновлювати початкові розміри і форму після усунення навантаження.

Пластичність - здатність деталей одержувати значну деформацію, яка залишається після зняття навантаження; цю деформацію називають залишковою.

Твердість - здатність деталей чинити опір при місцевій контактній дії пластичній деформації або крихкому руйнуванню в поверхневому шарі.

При змінному циклічному навантаженні основною механічною характеристикою конструкційних матеріалів є опір втомленості.

Опір втомленості – це властивість матеріалу деталей протистояти втомленості. Під втомленістю розуміють процес поступового нагромадження пошкоджень матеріалу під впливом багаторазового повторення навантаження, який приводить до зміни властивостей, виникнення і розвитку тріщин та до руйнування матеріалу.

2.2 Механічні характеристики конструкційних матеріалів при статичному напруженні

Механічні характеристики деформативність, пружність, пластичність і твердість використовують для оцінки статичної міцності конструкційного матеріалу, із якого виготовлена деталь.

Деформативність матеріалу визначається при дослідженнях на розтягнення зразка круглого перерізу на розривній машині. За результатами експерименту будують діаграму розтягу матеріалу (рис. 2.1). Основними параметрами матеріалу при статичному напруженні є такі.

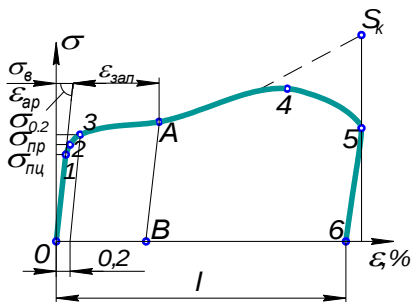


Рис. 2.1. Діаграма розтягу матеріалу

Границя пропорційності $\sigma_{пц}$ - це напруга, при якій відхилення від лінійної залежності між напругою і деформаціями вперше досягає деякої заданої величини (т. 1 на графіку рис. 2.1).

Границя пружності $\sigma_{пр}$ - напруга, при якій залишкові деформації досягають заданої величини (порядку 0,002...0,005 %, т. 2).

Границя текучості σ_m - напруга, яка відповідає площадці текучості. Остання виникає для маловуглецевих сталей за рахунок деформації матеріалу без нарощення напруги (рис. 2.2). Для матеріалів, які не мають площадки текучості, визначають умовну границю текучості $\sigma_{0,2}$ - це напруга, при якій залишкові деформації досягають деякої заданої величини (звичайно 0,2% - т. 3, рис. 2.2).

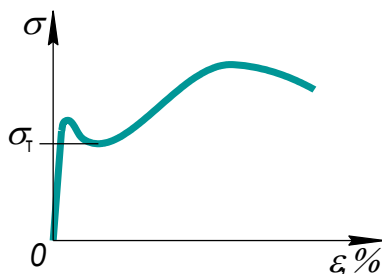


Рис. 2.2. Деформація розтягу матеріалу з площадкою

Максимальну умовну напругу, яку витримує зразок, називають тимчасовим опором або границею міцності σ_b (т. 4). Дійсну

напругу в момент остаточного руйнування зразка називають дійсною границею міцності S_k .

Твердість в значній мірі визначає статичну міцність матеріалу. Твердість за Брінеллем HB (ГОСТ 9012-59) визначають при втискуванні у матеріал кульки із загартованої сталі за відношенням заданої величини навантаження до площі поверхні відбитка кульки. Твердість за Роквеллом HRC (ГОСТ 9013-59) визначають при втискуванні у матеріал алмазного конуса за різницею глибини проникнення конуса під дією основного навантаження і його зняття.

Міцність є головним критерієм працездатності. Якщо величина робочої напруги перевищує границю міцності матеріалу σ_s , то виникає руйнування деталі. Цей процес зв'язаний з випадковими перевантаженнями, які важко врахувати при розрахунках, або з прихованими дефектами деталей - раковини, тріщини, сторонні включення.

До деталей, які працюють з постійною напругою, відносять деталі з великим навантаженням від сили тяжіння, з великою початковою затяжкою, наприклад: заклепки, частина кріпильних гвинтів, пружини; з малою кількістю плавних навантажень; деталі, які навантажуються на початку тривалого робочого циклу машини або які розвантажуються при зупинці або закінченні циклу. Постійні режими характерні для машин центральних силових і насосних станцій, транспортних машин далекого прямування.

2.3 Контактна міцність і контактна напруга

Працездатність зубчастих, черв'ячних, фрикційних передач, підшипників кочення та багатьох інших деталей машин залежить від міцності їх робочої поверхні - так званої контактної міцності. Руйнування робочої поверхні цих деталей залежить від величини напруги, яка називається контактною.

Контактна напруга створюється в місці стикання двох тіл у тих випадках, коли розміри площадки дотику малі

порівняно з розмірами цих тіл, наприклад, стиск двох куль, кулі і площини, двох циліндрів з паралельними осями тощо.

Два циліндри висотою l з паралельними осями стикаються по лінії (рис. 2.3). При стиску двох циліндрів з паралельними осями питомим навантаженням q із-за пружних деформацій контакт циліндрів по лінії переходить у контакт по досить вузькій площадці шириною $2a$. При цьому точки максимальної напруги σ_n розміщуються на поздовжній осі симетрії контактної площадки y . Максимальні значення цієї напруги для тіл, що виготовлені із сталі та інших матеріалів з коефіцієнтом Пуассона $\mu = 0,3$, знаходять за формулою Г. Герца (рис. 2.4)

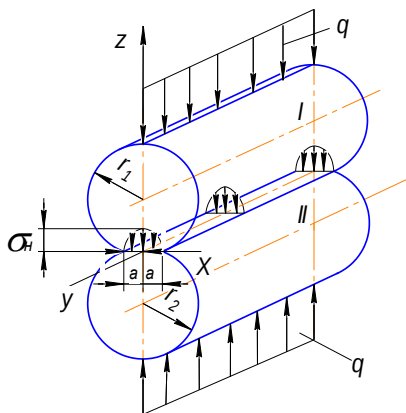


Рис. 2.3. Стиск двох циліндрів з паралельними осями питомим навантаженням q



Рис. 2.4. Німецький вчений Г. Герц

$$\sigma_i \approx 0,418 \sqrt{\frac{q E_{i\delta}}{\rho_{i\delta}}}, \quad (2.1)$$

де E_{np} , ρ_{np} – відповідно приведені модуль пружності матеріалу та радіус кривизни в точці контакту двох циліндрів;

q – питоме навантаження на одиницю довжини контактної лінії, $q = F/l$.

При цьому

$$E_{np} = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}, \quad \frac{1}{\rho_{np}} = \frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2}, \quad (2.2)$$

де E_1, E_2, r_1, r_2 – відповідно модулі пружності і радіуси першого і другого циліндрів.

Знак “ - ” використовується у випадку внутрішнього контакту циліндрів. Формула (2.2) справедлива як для кругових, так і циліндрів будь-якого виду.

2.4 Механічні характеристики конструкційних матеріалів при змінному напруженні

Деталі машин, які в процесі роботи змінюють своє положення в просторі, знаходяться під дією змінного навантаження, наприклад, зубчасті колеса, вали, підшипники, пружини тощо. Змінне навантаження приводить до виникнення в деталях змінної напруги. Змінна напруга характеризується циклами зміни напруги, які можуть бути такими:

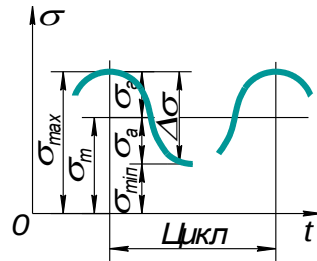


Рис. 2.5. Симетричний цикл зміни напруги

Симетричний цикл, у якому напруга змінюється за синусоїдним законом від від'ємного значення $-\sigma_{min}$ до такого ж позитивного значення $+\sigma_{max}$ (рис. 2.5), за абсолютним значенням $|\sigma_{max}| = |\sigma_{min}|$, наприклад, напруга згинання, яка виникає у валах і осях. На рисунку: σ_m - середня напруга; σ_a - амплітуда змінної напруги.

Знакопостійний або знакозмінний асиметричний цикл при якому $|\sigma_{max}| \neq |\sigma_{min}|$ (рис. 2.6). Відношення максимального значення напруги σ_{max} до мінімального

σ_{min} називається коефіцієнтом асиметрії $r = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ (для симетричного циклу $r = -1$).

Відношення максимального значення напруги σ_{max} до мінімального σ_{min} називається коефіцієнтом асиметрії $r = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ (для симетричного циклу $r = -1$).

Окремим випадком асиметричного циклу є віднульовий цикл, у якому напруга змінюється від нуля $\sigma_{min} = 0$ до максимального значення σ_{max} ; для цього циклу $r = 0$ (наприклад, напруга згинання зубчастих коліс, які працюють в нереверсивних передачах; напруга в штоках поршневих машин).

Тривала дія змінної напруги, величина якої перевищує характеристики міцності матеріалу, приводить до втоми і поломки деталей. Втомиленість – це процес поступового накопичення пошкоджень матеріалу під дією змінної напруги, яке приводить до зміни властивостей матеріалу, утворенню в ньому тріщин, їх розвитку і руйнуванню деталей.

Руйнування від втоми починається з поверхні в місцях високої концентрації напруги (рис. 2.7), пов'язаної з конструкційною формою деталей (наприклад, галтель, канавка, різь і т.п.) або з дефектами виробництва (наприклад, тріщини, подряпини тощо).

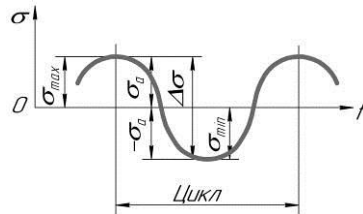


Рис. 2.6. Знакопостійний цикл зміни напруги



Рис. 2.7. Характерна ознака втоми руйнування

Характеристику опору втомленості використовують для оцінки міцності конструкційного матеріалу при змінному навантаженні.

Оцінку опору матеріалу дії змінної напруги проводять дослідженням на втомленість партії із 15...20 зразків, які доводять до руйнування при напрузі, рівень амплітуд якої має різне значення.

За результатами дослідження руйнування зразків будують криві втомленості (криві Веллера), які показують залежність між числом циклів до руйнування N і максимальною напругою σ_{max} або амплітудою циклу σ_a (рис. 2.8). Вздовж осі абсцис, а іноді, вздовж осі ординат, для зручності відкладають значення LgN і $Lg\sigma_a$. Для більшості сталей, починаючи з $N \approx 10^6 \dots 10^7$, графік кривої втомленості стає горизонтальною лінією, тобто зразки, які витримали вказане число циклів навантаження, не руйнуються і при подальшому навантаженні.

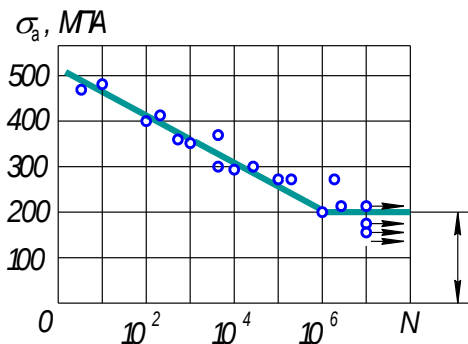


Рис. 2.8. Криві втомленості матеріалу (криві Веллера)

Найбільше значення максимальної напруги σ_{max} , при якому матеріал може витримати без руйнування практично необмежене число циклів N , називають границею витривалості. Для симетричного циклу границя витривалості позначається σ_{-1} , так як для такого циклу коефіцієнт асиметрії $r = -1$.

Числове значення границі витривалості конструкційних матеріалів наведено в різних довідниках.

При їх відсутності границю витривалості вуглецевих сталей можна знайти в залежності від границі міцності σ_s

$$\begin{aligned} \sigma_{-1} &\approx 0,43 \sigma_s; \quad \tau_{-1} \approx 0,6 \sigma_{-1}; \\ \sigma_0 &\approx 1,6 \sigma_{-1}; \quad \tau_0 \approx 1,9 \tau_{-1}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

2.5 Запаси міцності конструкційних матеріалів при статичному навантаженні

Для забезпечення працездатності деталей машин на заданому рівні максимальне навантаження та напруга в небезпечних перерізах повинні бути нижче граничних значень. Чим більша різниця між цими величинами, тим вищий рівень працездатності деталі. Відношення граничного значення напруги $\sigma_{\text{до}}$ до максимального значення σ_{max} , яка виникає в деталі при її роботі, називається запасом міцності за напругою n :

$$n = \frac{\sigma_{\text{до}}}{\sigma_{\text{max}}}. \quad (2.4)$$

Використання поняття запасу міцності при розрахунках дозволяє урахувати розсіювання механічних властивостей матеріалу, розсіювання та неточність визначення діючих при експлуатації навантажень, наближеність розрахункових оцінок напруги, відхилення в геометрії деталей відносно номінальних розмірів, можливі випадки перевантаження тощо.

При статичному навантаженні деталей за граничне значення напруги $\sigma_{\text{до}}$ приймають границю міцності $\sigma_{\hat{a}}$, а запас міцності $n_{\hat{a}}$ визначають за формулою

$$n_{\hat{a}} = \frac{\sigma_{\hat{a}}}{\sigma_{\text{max}}}. \quad (2.5)$$

Звичайно приймають $n_{\hat{a}} = 1,3 \dots 2,5$.

2.6 Запаси міцності конструкційних матеріалів при змінному напруженні

Якщо деталі машин працюють в умовах змінного навантаження з симетричним циклом, то граничною напругою $\sigma_{\text{до}}$ буде границя витривалості σ_{-1k} , яка визначається з

урахуванням границі витривалості матеріалу для симетричного циклу навантаження σ_{-1} , коефіцієнту впливу абсолютних розмірів деталі K_d , коефіцієнту, який ураховує стан поверхні β_σ та ефективного коефіцієнту концентрації напруги K_σ , тобто

$$\sigma_{-1k} = \frac{\sigma_{-1} K_d \beta_\sigma}{K_\sigma}. \quad (2.6)$$

При цьому запас міцності n_σ при розрахунках за нормальною напругою знаходиться за формулою

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1k}}{\sigma_a}, \quad (2.7)$$

де σ_a - амплітуда діючої нормальної змінної напруги в деталі.

При розрахунках за дотичною напругою τ запас міцності n_τ знаходиться за формулою:

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1k}}{\tau_a}, \quad (2.8)$$

де τ_a - амплітуда діючої дотичної змінної напруги.

Для визначення амплітуди циклів напруги при згинанні σ_a і крутінні τ_a можна використати такі математичні вирази:

$$\sigma_a = \frac{M}{W_{oc}}, \quad \tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{T}{2W_p}, \quad (2.9)$$

де M і T – відповідно згинальний і обертовий моменти; W_{oc} - осьовий момент опору згинанню перерізу «нетто»; W_{op} - полярний момент опору крутінню перерізу «нетто».

При сумісній дії нормальної σ_a і дотичної τ_a змінної напруги вводять поняття еквівалентної напруги $(\sigma_a)_{\text{екв}}$, яка визначається так:

$$(\sigma_a)_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}. \quad (2.10)$$

Тоді запас міцності n знаходиться за формулою

$$n = \frac{\sigma_{-1k}}{(\sigma_a)_{\text{екв}}} = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}. \quad (2.11)$$

Допустиме значення запасу міцності приймають $n_\sigma = 1,5 \dots 4,0$.

2.7 Методи розрахунків деталей машин на міцність

Розрахунки деталей машин на міцність ведуть за номінальною допустимою напругою, за коефіцієнтами запасу міцності, за імовірністю безвідмовної роботи.

Розрахунки за номінальною напругою прості, зручні для узагальнення досвіду - особливо для машин масового випуску, які працюють у близьких умовах.

При розрахунках за номінальною напругою порівнюють розрахункову або робочу напругу, яка виникає в деталі при дії експлуатаційних навантажень, з допустимою напругою.

Умова міцності розрахункової деталі виражається нерівністю

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{або} \quad \tau \leq [\tau], \quad (2.12)$$

де σ і $[\sigma]$ - відповідно розрахункова або робоча і допустима нормальна напруга; τ і $[\tau]$ - відповідно розрахункова або робоча і допустима дотична напруга.

Розрахунки за коефіцієнтами запасу міцності враховують в явній формі окремі фактори, які впливають на міцність - концентрацію напруги, зміцнення матеріалу і т.п. Тому вони більш точні. Цей коефіцієнт завжди більший одиниці, і він тим більший, чим надійніше деталь у роботі. При цьому порівнюють значення дійсного або розрахункового коефіцієнта запасу міцності n з допустимим його значенням $[n]$.

Умова міцності виражається нерівністю

$$n \geq [n]. \quad (2.13)$$

Необхідно відзначити, що розрахунки за коефіцієнтами запасу міцності зберігають умовність, тому що коефіцієнти запасу міцності розраховують для деяких умовних характеристик матеріалів і значень навантаження.

Найбільш перспективними є розрахунки за імовірністю безвідмовної роботи. Це пов'язано з тим, що ряд параметрів розрахункових формул мають значне розсіювання своїх чисельних значень і є випадковими величинами. Однак ці розрахунки найбільш складні і поки ще не можуть постійно використовуватися в звичайній інженерній практиці.

2.8 Вибір конструкційних матеріалів для деталей машин

Вибір конструкційних матеріалів є відповідальним етапом проектування. Правильно вибраний матеріал деталей у значній мірі визначає рівень працездатності машини.

При виборі конструкційного матеріалу враховують такі фактори: відповідність властивостей матеріалу головному критерію працездатності; вимоги до маси, габаритів деталі; вимоги, пов'язані з призначенням деталей, умовами їх експлуатації, наприклад, фрикційні властивості, антикорозійність тощо; відповідність конструктивної форми

технології обробки деталі; вартість і дефіцитність матеріалу і т.п.

При конструюванні в основному використовують чорні метали: чавуни, сталі. Це пояснюється їх високою міцністю, жорсткістю, відносно невеликою вартістю. Основні недоліки чорних металів - велика густина і низька корозійна стійкість.

Сталі. Сталь вуглецева звичайної якості (ДСТУ 2651:2005) марок Ст0...Ст6 використовуються для деталей без термічної обробки (наприклад, для заклепок) і для невідповідальних деталей, що працюють при малому навантаженні. В залежності від призначення ці сталі діляться на три групи: А – поставляється за механічними властивостями; В – поставляється за хімічним складом; В – поставляється за механічними властивостями і хімічним складом. Марки сталей: групи А – Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 (група А в позначеннях не вказується); групи Б – БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6; групи В – ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Для позначення ступеню розкислення до позначень марок сталей додають індекси: "кп" - кипляча, "пс" - напівспокійна, "сп" - спокійна, наприклад: Ст3кп, БСт3пс, ВСт3сп. В позначеннях марок "Ст" означає сталь, цифри від 0 до 6 - умовний номер марки в залежності від хімічного складу і механічних властивостей. Із сталей Ст0, Ст1 виготовляють труби, резервуари, кожухи, прокладки; із сталей Ст3, Ст4 – болти, гвинти, гайки, шпильки, осі, заклепки і т.п.; Ст5, Ст6 використовується для валів-шестерен, шпонок, бандажів коліс та ін. Приклад умовного позначення: "Ст3 ДСТУ 2651:2005".

Сталь вуглецева якісна конструкційна (ГОСТ 1050-88) марок 08кп, 10, 15кп, 20, 20кп, 25, 30, 35, 40, 45, 60, 65Г та ін. широко використовується в машинобудуванні для деталей, що підлягають термообробці. Двозначне число марки показує середній вміст вуглецю в сотих долях проценту, "Г" – підвищений вміст марганцю (~1%). За середнім вмістом вуглецю сталі діляться на маловуглецеві, середньовуглецеві і високовуглецеві. Індекси "кп" і "пс" означають - кипляча, напівспокійна, Сталі марок 10, 15, 20, 25 використовують для виготовлення кріпильних виробів, втулок, муфт тощо; сталі марок 35, 40, 45 – для виготовлення деталей, які витримують значне навантаження, наприклад, колінчастих валів,

штоків; сталь 65Г використовується для виготовлення пружин. Приклад умовного позначення: *"Сталь 65 ГОСТ 1050-88"*.

Сталь вуглецева інструментальна (ГОСТ 1435-74) випускається марок У7, У8, У8Г, У8ГА, У9 тощо. Буква "У" і цифра в позначеннях марок означає середній вміст вуглецю в десятих долях проценту; літера "Г" - підвищений вміст марганцю; літера "А" - високоякісна сталь. Сталь використовується для виготовлення різального і слюсарного інструменту, штампів і т.п. Приклад умовного позначення: *"Сталь У8Г ДСТУ 3833-98"*.

Сталь легована конструкційна (ГОСТ 4543-71) використовується для особливо відповідальних деталей машин, які крім високої міцності повинні бути компактними, мати малу масу, а також особливі властивості. Виготовляється багато марок легової конструкційної сталі: хромисті 15Х, 15ХА, 20Х, 38ХА та інші; марганцевисті 15Г, 20Г, 45Г, 3БГ2 та інші; хромомарганцевисті 18ХГ, 20ХГР, 30ХГТ, 25ХГМ та інші; хромокремністі 33ХС, 40ХС та інші; хромомолібденові та хромомолібденованадієві 15ХМ, 30ХМ, 30ХМА, 30ХЗМФ та інші; хромонікельмолібденові 14Х2НЗМА та інші. В залежності від хімічного складу і властивостей сталь ділиться на якісну, високоякісну і особливо високоякісну. В позначеннях марок сталей перші дві цифри означають середній вміст вуглецю в сотих долях проценту, букви за цифрами – позначення легуючого елементу: "М" - молібден, "Н" - нікель, "Р" - бор, "С" - кремній, "Т" - титан, "Ф" - ванадій, "Х" - хром, "Ю" - алюміній. Відсутність цифр після букв означає що вміст відповідного легуючого елементу в середньому дорівнює 1%. Наявність цифр після позначення легуючого елементу вказує на приблизний його вміст в цілих одиницях проценту. Літера "А" в кінці найменування характеризує високу якість сталі. Приклад умовного позначення: *"Сталь 12Х2Н4А ГОСТ 4543-71"*.

Підвищення механічних та інших властивостей сталі досягають за рахунок термічної обробки (відпалювання, нормалізація, покращення, гартування, відпускання), хіміко-термічної обробки (цементація, азотування, ціанування тощо), механічного зміцнення та інше.

Відливки із конструкційної нелегової та легової сталі (ГОСТ 977-75) діляться на три групи: 1 - відливки звичайного призначення; 2 - відливки відповідального призначення; 3 - відливки особливо відповідального призначення. Відливки виготовляють із сталей марок 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л та інші. Приклад

умовного призначення відливки сталі 20Л, групи 1: "Відливка 20Л – 1 ГОСТ 977-75".

Сортаменти прокату сталей використовуються тоді, коли форма деталі і умови її роботи вимагають її виготовлення із металу певного сортаменту: профілю, каліброваного прутка, листа, дроту і т.п. В цьому випадку позначають не лише матеріал, але і сортамент із його характерними розмірами. Приклад позначення різних сортаментів:

- 1). Сталь гарячекатана квадратна марки Ст3 із стороною квадрату 60 мм, звичайної прокатки

$$\text{Квадрат} \frac{B \ 60 \ \text{ГОСТ} \ 2591 - 71}{Ст3 \ \text{ГОСТ} \ 535 - 79}.$$

- 2). Швелер N20 із уклоном внутрішніх граней полиць із сталі марки Ст3

$$\text{Швелер} \frac{20 \ \text{ГОСТ} \ 8240 - 72}{Ст3 \ \text{ГОСТ} \ 535 - 79}.$$

- 3). Сталь кругла марки Ст3 діаметром 50мм

$$\text{Круг} \frac{50 \ \text{ГОСТ} \ 2590 - 71}{Ст3 \ \text{ГОСТ} \ 535 - 79}.$$

- 4). Сталь шестигранна калібрована марки 45, з розміром "під ключ" 25 мм, 5-го класу точності

$$\text{Шестигранник} \frac{25 - 5 \ \text{ГОСТ} \ 8560 - 78}{45 \ \text{ГОСТ} \ 1051 - 73}.$$

Чавуни. Сірий чавун (ГОСТ 1412-85) є основним ливарним машинобудівним матеріалом. Чавун має високі ливарні і достатні механічні властивості, добре обробляється різанням, має високі демпфіруючі властивості. Із чавуна відливають деталі складної конфігурації, наприклад, станини верстатів, корпуса редукторів, блоки циліндрів двигунів внутрішнього згорання тощо. Існують такі марки сірих чавунів СЧ10, СЧ15,..., СЧ35.

Високоміцний чавун (ГОСТ 805-80). Використовується, як новий матеріал і як заміник сталі. Використовують у верстатобудуванні (станини, шпинделі та інше), для прокатного і ковальсько-пресового обладнання. Стандартні марки високоміцних чавунів ВЧ35, ВЧ40,..., ВЧ100.

Ковкий чавун (ГОСТ 26358-84) використовують для деталей, які за своєю формою вимагають ливарну технологію але витримують при роботі ударне навантаження. Стандартні марки чавунів КЧ35, КЧ45 тощо.

У позначеннях марок чавунів СЧ, ВЧ, КЧ цифри показують мінімальне значення границі міцності при розтягненні $\sigma_{\text{с}}$ в Н·мм². Наприклад, марка СЧ25 - сірий чавун із границею міцності при розтягненні $\sigma_{\text{с}}$ = 250 Н·мм²; марка ВЧ40 - високоміцний чавун із границею міцності при розтягненні $\sigma_{\text{с}}$ = 400 Н·мм².

Антифрикційний чавун використовується в підшипникових вузлах тертя, наприклад, для виготовлення вкладишів підшипників ковзання при роботі в парі із гартованими і нормалізованими валами. Стандартні марки антифрикційних чавунів АСЧ-1, АСЧ-2,..., АСЧ-6, АЧВ-2, АЧК-1, АЧК-2. Позначення марки: АЧ- антифрикційний чавун; С - сірий чавун (АСЧ-1); В - високоміцний (АЧВ-2); К - ковкий (АЧК-2); цифри - порядковий номер марки.

Кольорові метали (мідь, цинк, свинець, олово, алюміній та інші) використовують головним чином як складові частини сплавів - бронзи, латуней, бабіту, дюралюмінію та інших. Ці метали є значно дорожчими, ніж чорні, і використовуються для виготовлення деталей, до яких ставляться особливі вимоги: легкість, антифрикційність, антикорозійність та інше.

Бронзи – сплави міді із оловом, свинцем, алюмінієм, залізом і іншими металами (крім цинку). Мають високі антифрикційні і антикорозійні властивості і використовуються для вкладишів підшипників ковзання, черв'ячних коліс, гайок вантажних і ходових гвинтів тощо. Бронзи розділяються за вмістом в них основного легуючого матеріалу.

Бронзи олов'яні ливарні (ГОСТ 613-79) виготовляють марок БрОЦНЗ-7-5-1; БрОЦСЗ-12-5; БрОЦС5-5 та інші. Використовуються для виготовлення арматури, яка працює в морській та прісній воді, в маслах і парі під тиском до 25 кгс/мм², для антифрикційних деталей. Позначення: Бр - бронза, потім буква, яка позначає легований елемент; перше число позначає середній вміст олова в процентах, інші цифри вміст інших елементів в процентах. Літери позначають: "О" - олово, "Ц" - цинк, "С" - свинець, "Ф" - фосфор, "А" - алюміній, "Ж" - залізо, "Мц" - марганець, "Н" - нікель тощо. Приклад умовного позначення бронзи із вмістом 3% олова, 12% цинку, 5% свинцю, решта – мідь: "БрОЦС 3-12-5 ГОСТ 613-79".

Бронзи олов'яні оброблені тиском (ГОСТ 5017-74), випускають таких марок: БрОФ8,0-0,3; БрОФ6,5-0,4; БрОЦ4-3 та інші. Приклад умовного позначення: "*БрОФ4-0,25 ГОСТ5017-74*".

Бронзи безолов'яні оброблені тиском (ГОСТ 18175-78) випускають таких марок: БрА5, БрАМц9-2, БрАЖ9-4, БрАЖН10-4-4, БрКН1-3 та інші.

Мідно-цинкові сплави (латуні) - сплави міді з цинком. Мають високий опір корозії, антифрикційні властивості, електропровідність, хороші технологічні властивості. Латуні використовуються для виготовлення дроту, труб, гільз та інше.

Мідно-цинкові сплави (латуні) ливарні (ГОСТ 17711-80) випускають таких марок: ЛА67-2,5; ЛАЖМц66-6-3-2; ЛМцС58-2-2; ЛК80-3Л; ЛКС80-3-3; ЛС59-1Л та інші. Використовуються для виготовлення деталей арматури, литих підшипників і втулок, натискних гайок, корозійно-стійких деталей, що працюють в морській воді, лиття під тиском, фасонного лиття та інші. Приклад умовного позначення латуні, що містить 60% міді; 6% алюмінію, 3% заліза, 2% марганцю, решта – цинк: "*ЛАЖМц 66-6-3-2 ГОСТ 17711-70*".

Мідно-цинкові сплави (латуні), що обробляються тиском (ГОСТ 17711-70) випускають таких марок: Л96, Л90, Л85, Л70, Л63, ЛА-77-2, ЛАЖ60-1-1 та інші. Приклад умовного позначення: "*ЛАЖ 60-1-1 ГОСТ 15527-70*".

Із латуні, що обробляється тиском, виробляють листи, прутки, смугу, дріт. Приклад умовного позначення гарячекатаного листа із латуні Л63: "*Лист Л63 Гк5х600х1500 ГОСТ 931-78*".

Бабіти – сплави на основі олова і свинцю (ГОСТ 1320-74). Марки бабітів: Б89, Б83, Б83С, БН тощо. Бабіти мають високі антифрикційні властивості, добре випрацьовуються. Кращі властивості мають бабіти марок Б89; Б83, але вони дорогі, тому можуть використовуватися бабіти з невисоким вмістом олова, наприклад, бабіт марки Б16. Позначення: Б – бабіт, число після букви визначають вміст основного елементу в процентах. Наприклад, бабіт марки Б83 містить 83% олова, а решта – сурма (11%) і мідь (6%). Використовуються для заливки підшипників турбін, насосів, вентиляторів тощо. Приклад умовного позначення: "*Бабіт Б83 ГОСТ 1320-74*".

Легкі сплави – сплави на основі алюмінію, магнію, титану тощо. Їх густина майже в три рази менша, ніж у сталі, а питома міцність (відношення границі міцності σ_s до густини матеріалу ρ - σ_s/ρ) приблизно дорівнює питомій міцності сталі. Використовують-

ся у всіх галузях машинобудування (авіація, ракетобудування, транспорт тощо), де необхідно зниження маси.

Легкі сплави діляться на *ливарні* і ті, що *деформуються*.

Із ливарних сплавів найбільш поширені силуміни АЛ2, АЛ4 та інші, які містять кремнію до 20%. Вони мають високі ливарні властивості, добре обробляються різанням. Із них виготовляють відповідальні деталі двигунів, поршнів, деталей складної конфігурації, виробів, що працюють при підвищених температурах тощо. Приклад умовного позначення: "*АЛ8 ГОСТ 2685-75*".

Сплави алюмінієві, що деформуються (ГОСТ 4784-74) випускають таких марок: АМцС, Д12, АМг4, АД33, АВ, В65 та інші.

Із алюмінієвих сплавів, що деформуються, найчастіше використовують дюралюміни Д1, Д16 та ін., які містять алюміній, мідь, магній та марганець. Заготівки деталей із цих сплавів одержують обробкою тиском.

Неметалеві матеріали - композиційні і порошкові матеріали, пластмаси, текстоліт і асботекстоліт, дерево, гума, шкіра, азбест тощо використовуються замість металів для надання деталям особливих властивостей, підвищення їх експлуатаційних властивостей, зниження маси, економії кольорових металів, підвищення техніко-економічної ефективності.

Композиційні матеріали являють собою сполуку металевої основи (матриці) і зміцнюючого наповнювача – високоміцних волокон бора, вольфраму, молібдену та інших, просочених розплавленими металами (кобальтом, алюмінієм тощо). Варіації цих компонентів і їх об'ємне сполучення забезпечують можливість одержання матеріалів з високими механічними властивостями, жароміцністю та іншими властивостями. Композиційні армовані матеріали за міцністю і стійкістю до спрацювання значно кращі за сталі і високоякісні сплави.

Порошкові матеріали одержують із порошків металів (або їх суміші із неметалевими матеріалами) пресуванням і наступним спіканням в прес-формах деталей. Порошкова металургія дає можливість одержати дешеві і легкі конструкційні матеріали, які здатні замінити сталі, чавуни, сплави кольорових металів. Ці матеріали мають такі властивості, як тугоплавкість вольфраму, легкість алюмінію, міцність титану, пружність сталі; вони поглинають шум і демпфірують коливання.

Пластмаси мають такі властивості як легкість, висока міцність, тепло і електроізоляція, стійкість проти дії агресивного середовища, фрикційність або антифрикційність, антикорозійність тощо. Мають високі ливарні властивості, що дозволяє виготовляти із них вироби будь-якої складності із високою продуктивністю. Найбільш поширені в машинобудуванні такі пластмаси, як текстоліт, гетинакс, фенопласт, фторопласт, органічне скло, капрон, нейлон та інші. Їх широко використовують для виготовлення корпусних деталей, шківів, вкладишів підшипників, фрикційних накладок, рукояток, маховиків, панелей, труб тощо.

Пластмаси – це легкий і дешевий конструкційний матеріал, який здатний замінити як чорні так і кольорові сплави.

Текстоліт і азботекстоліт конструкційний (ГОСТ 5-78) - шаровий пластичний матеріал, випускається марок ПТ, ПТК, ПТК-С, ПТМ-1, ПТМ-2, ПТГ-1; азботекстоліта А, Б, Г. Приклад умовного позначення: *"Текстоліт ПТК-20, сорт 1 ГОСТ 5-78"*, *"Азботекстоліт Б- 30 ГОСТ 5-78"* - тут вказано назву матеріалу, марку, товщину, сорт і номер стандарту.

Вініпласт листовий (ГОСТ 9639-71) - жорсткий листовий термопластичний матеріал. Випускаються такі марки: ВН, ВНЭ, ВП, ВД. Використовують при виготовленні хімічної апаратури в автомобільній та електротехнічних галузях промисловості. Приклад позначення листів марки ВН довжиною 1500 мм і шириною 800 мм: *"Листи вініпласту ВН 1500 x 800 ГОСТ 9639-71"*.

Пароніт (ГОСТ 481-80) одержують із суміші азбестових волокон, розчинника і наповнювача. Марки пароніту: ПОН, ПМБ, ПА, ПЭ. Використовується як прокладочний матеріал. Приклад умовного позначення листів пароніту ПОН товщиною 0,6 мм, шириною 500 мм, довжиною 750 мм: *"Пароніт ПОН 0,6 x 500 x 750 ГОСТ 481-80"*.

Гетинакс електротехнічний листовий (ГОСТ 2718-74) випускають марок 1, 2, 3, V, V-1, 4 та інші. Приклад умовного позначення гетинаксу марки V-1 товщиною 12 мм: *"Гетинакс V-1 12,0 ГОСТ 2718-74"*.

Остаточний вибір конструкційного матеріалу для даної деталі проводять на основі техніко-економічного аналізу з урахуванням можливостей виробництва і економічної ситуації в даній галузі машинобудування.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттю “міцність”.
2. Дайте визначення поняттю “деформативність”.
3. Дайте визначення поняттю “пружність”.
4. Дайте визначення поняттю “пластичність”.
5. Дайте визначення поняттю “твердість”.
6. Дайте визначення поняттю “опір втомленості”.
7. Приведіть графік діаграми розтягу матеріалу.
8. Дайте визначення поняттю «границя пропорційності».
9. Дайте визначення поняттю «границя пружності».
10. Дайте визначення поняттю «границя текучості».
11. Які Ви методи вимірювання твердості.
12. Що таке контактна напруга?
13. Що таке приведений модуль пружності?
14. Що таке приведений радіус кривизни?
15. За яким математичним виразом знаходять максимальне значення контактної напруги при стиску двох циліндрів?
16. Охарактеризуйте властивості матеріалів при змінній нарузі. Які існують цикли зміни напруги?
17. Охарактеризуйте симетричний цикл напруження.
18. Охарактеризуйте знакопостійний та знакозмінний цикл напруження.
19. Дайте визначення поняттю “втомленість конструкційного матеріалу”.
20. Які властивості матеріалу характеризують “криві Веллера”?
21. Дайте визначення поняттю «запас міцності при статичному напруженні».
22. Наведіть формулу для визначення запасу міцності при статичному напруженні.
23. Дайте визначення поняттю «запас міцності при змінному напруженні».
24. Наведіть формулу для визначення запасу міцності при змінному напруженні.
25. Які існують методи розрахунків деталей машин на міцність? Запишіть умову міцності матеріалу при розрахунках за номінальною напругою.
26. Які існують конструкційні матеріали? Які фактори ураховують при виборі матеріалу для певної деталі?
27. Охарактеризуйте конструкційний матеріал “сталь вуглецева”. Наведіть приклад умовного позначення.

28. Охарактеризуйте конструкційний матеріал “сталь легована”. Наведіть приклад умовного позначення.

29. Наведіть приклад умовного позначення сортаменту прокату сталей.

30. Охарактеризуйте конструкційний матеріал “чавун”. Наведіть приклад умовного позначення.

31. Охарактеризуйте конструкційний матеріал “бронза”. Наведіть приклад умовного позначення.

32. Охарактеризуйте конструкційний матеріал “латунь”. Наведіть приклад умовного позначення.

33. Охарактеризуйте конструкційний матеріал “бабіт”. Наведіть приклад умовного позначення.

34. Охарактеризуйте легкі сплави. Наведіть приклад умовного позначення алюмінієвого ливарного сплаву.

35. Охарактеризуйте легкі сплави. Наведіть приклад умовного позначення алюмінієвого сплаву, що деформується.

36. Охарактеризуйте композиційні матеріали.

37. Охарактеризуйте конструкційні матеріали, що відносяться до пластмас.

РОЗДІЛ II ЗУБЧАСТІ ТА ЧЕРВ'ЯЧНІ ПЕРЕДАЧІ

3 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗУБЧАСТИХ ТА ЧЕРВ'ЯЧНИХ ПЕРЕДАЧ

3.1 Класифікація та основні характеристики механічних передач

Зубчасті передачі відносяться до класу механічних передач. Механічною передачею називають механізм, який перетворює параметри руху двигуна при передаванні енергії виконавчим органам машини.

Механічні передачі поширені у всіх галузях машинобудування, наприклад, в кожному металорізному верстаті або автомобілі використовується до десятків механічних передач.

За допомогою механічних передач узгоджують режим роботи двигуна з режимом роботи виконавчих органів машини.

Режим різання металорізальних верстатів (швидкість різання, поздовжня та поперечна подачі) змінюються в дуже широкому діапазоні в залежності від механічних характеристик матеріалу, форми і розмірів заготовки. Вибір необхідних режимів різання проводиться за до-



Рис. 3.1. Коробка швидкостей металорізного верстата

помогою коробки швидкостей, приводів подач і установочних переміщень (рис. 3.1).

В автомобілях та інших транспортних засобах необхідно в широкому діапазоні змінювати швидкість та обертаючий момент приводних коліс. У той же час автомобільний двигун працює стійко при відносно постійних параметрах обертаючого моменту і кутовій швидкості. Пристосування механічних характеристик двигуна до змінних вимог руху автомобіля виконується за рахунок системи механічних передач - коробки зміни передач (рис. 3.2).

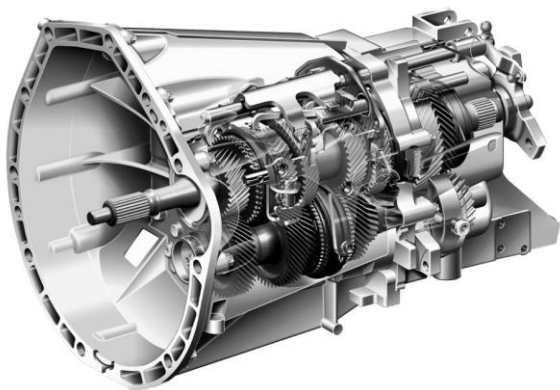


Рис. 3.2. Механічна коробка зміни швидкості сучасного автомобіля

Механічні передачі поділяються на дві групи:

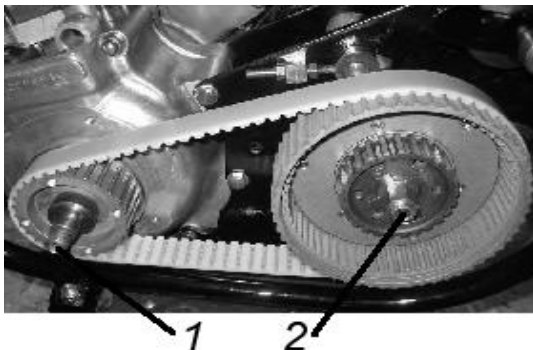
- передачі, що засновані на використанні зачеплення: зубчасті, черв'ячні, ланцюгові, гвинтові передачі;
- передачі, що засновані на використанні тертя: фрикційні, пасові передачі.

У механічних передачах розрізняють два вали: ведучий (вхідний) і ведений (вихідний) (рис. 3.3); іноді між ними розміщено проміжні вали. Якщо передача складається тільки із ведучої і веденої ланок, то вона називається одноступінчастою.

Основні характеристики механічних передач:

- а) потужність P_1 на вході і P_2 на виході передачі, Вт;

б) швидкохідність передачі, яка виражається частотою обертання n_1 на вході і n_2 на виході, $1/\text{хв.}$ або кутовими швидкостями ω_1 і ω_2 , $1/\text{с.}$



Похідні характеристики механічних передач:

Рис. 3.3. Механічна передача зубчастим пасом: 1 – ведучий вал; 2 – ведений вал

а) коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) η :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{або} \quad \eta = 1 - \frac{P_r}{P_1}, \quad (3.1)$$

де P_r - потужність, втрачена в передачі;

б) передаточне відношення i , яке знаходиться в напрямку потоку потужності:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (3.2)$$

При $i > 1$, $n_1 > n_2$, - передача є знижувальною - це редуктор; при $i < 1$, $n_1 < n_2$ - передача підвищувальна - це мультиплікатор.

Механічні передачі можуть бути з постійним або змінним (регульованим) передаточним відношенням.

При розрахунках механічних передач використовують такі залежності між параметрами механічних передач:

а) для розрахунку потужності P передачі

$$P = F_t v, \text{ Вт}, \quad (3.3)$$

де F_t - колова (тангенціальна) сила, Н; v - колова швидкість, м/с;

б) для розрахунку обертового моменту T на валу передачі

$$T = \frac{P}{\omega}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \text{ де } \omega = \frac{\pi n}{30}. \quad (3.4)$$

Зв'язок між обертовими моментами на веденому T_2 і ведучому T_1 валах:

$$T_2 = T_1 i \eta, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.5)$$

3.2 Загальні відомості та класифікація зубчастих передач

Зубчастою передачею називається механізм, який за допомогою зубчастого зачеплення передає або перетворює рух із зміною кутової швидкості і обертового моменту. Як приклад, на рис. 3.4 показано загальний вид циліндричної зубчастої передачі.

Принцип дії зубчастої передачі засновано на зачепленні пари зубчастих коліс.

Зубчасті передачі широко використовуються в техніці: в загальному і галузевому машинобудуванні, верстатобудуванні, автомобільному та тракторному будівництві, приладобудуванні та інших галузях. Частіше використовуються передачі із циліндричними колесами, які є менш складними при виготовленні та експлуатації, мають менші габарити та більшу надійність. Конічні, черв'ячні, гвинтові передачі використовуються лише в тих випадках, коли це необхідно за умовами компоновки машин.

Переваги зубчастих передач: висока навантажувальна здатність і, як наслідок, малі габарити; велика надійність і довговічність роботи, високий к.к.д.; постійне передаточне відношення; можливість використання в широкому діапазоні швидкостей, потужностей та передаточних відношень.

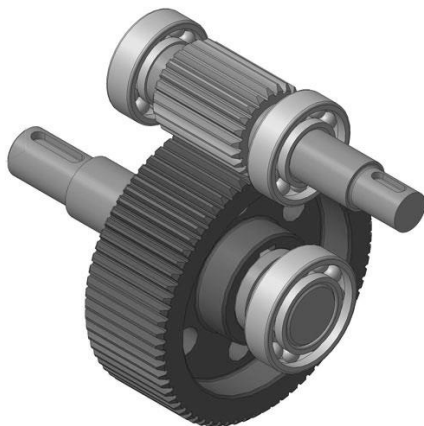


Рис. 3.4. Циліндрична зубчаста передача

Недоліки: підвищені вимоги до точності виготовлення, шум при високих швидкостях, висока жорсткість.

Класифікація зубчастих передач проводиться за наступними ознаками.

За розміщенням осей валів розрізняють (рис. 3.5):

- зубчасті передачі з паралельними осями: циліндричні передачі зовнішнього (див. рис. 3.4 та 3.5, *а - в*) та внутрішнього (рис. 3.5, *г*) зачеплення, передача типу «зубчасте колесо – рейка» (рис. 3.5, *з* та рис. 3.6);

- передачі із валами, осі яких перетинаються: конічні зубчасті передачі (рис. 3.5, *д - е*);

- передачі із мимобіжними у просторі осями валів: черв'ячні, гвинтові (рис. 3.5, *є*); конічні гіпоїдні (рис. 3.5, *ж*).

За розміщенням зубів на ободі колеса:

- прямозубчасті (рис. 3.5, *а, г, д, з*);

- косозубчасті (рис. 3.5, в, з, е, є, ж та рис. 3.6) переда-
чі.

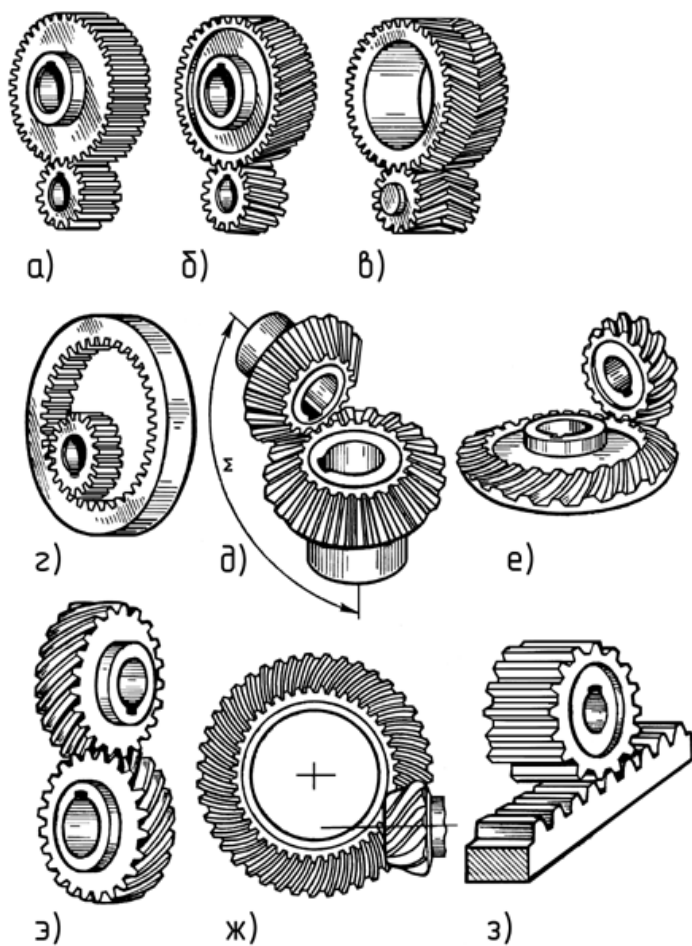


Рис. 3.5. Типи зубчастих передач

За формою профілю зубів:

- евольвентні;
- кругові передачі.

За конструктивним оформленням:

- закриті,
- відкриті передачі.

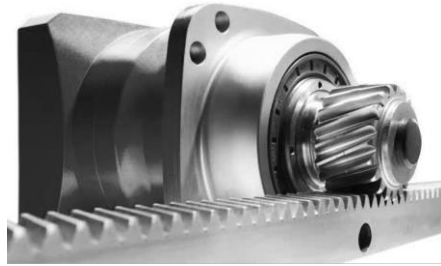


Рис. 3.6. Передача типу «зубчасте колесо – рейка»

За коловою швидкістю коліс - тихо - (v до 3 м/с), середньо - ($v = 3...15$ м/с) та швидкохідні ($v > 15$ м/с) передачі.

3.3 Короткі відомості про геометрію і кінематику зубчастих та черв'ячних передач

Основні параметри. Менше за діаметром із пари зубчастих коліс називають шестернею, а більше - колесом. До параметрів шестерні приписують індекс "1", до параметрів колеса - індекс - "2". Крім того, розрізняють індекси, що відносяться до початкової поверхні або кола - w , до основної поверхні або кола - b , до поверхні або кола вершин і головок зубів - a , до поверхні або кола западин і ніжок зубів - f .

Для прямозубчастих коліс (рис. 3.7) будуть справедливі такі терміни і визначення:

Число зубів шестерні та колеса - z_1 і z_2 .

Ділильний коловий крок зубів P - це відстань між однойменними профілями сусідніх зубів, яка виміряна вздовж дуги ділильного кола зубчастого колеса; цей крок дорівнює кроку вихідної зубчастої рейки.

Ділильним колом є таке коло, яке є початковим при зачепленні його з рейкою. Діаметр ділильного кола $d = \frac{pz}{\pi} = mz$.

Основний коловий крок зубів P_b - він відповідає основному колу зубчастого колеса; $D_b = D \cos \alpha$; тут α - кут профілю вихідного контуру; за ГОСТ 13755-81 $\alpha = 20^\circ$;

Кут зачеплення α_w ; причому $\cos \alpha_w = \frac{a \cos \alpha}{a_w}$ (тут a_w - міжосьова відстань).

Діаметр основного кола $d_b = d \cos \alpha$.

коловий модуль зубів m - це лінійна величина, яка в π раз менша кроку P , виміряного вздовж ділильного кола, $m = P/\pi$. Фактично коловий модуль m - це частка ділильного діаметра, яка приходить на один зуб. Модуль - це основний параметр зубчастої передачі, який визначає її розміри. Для пари зачеплених коліс модуль повинен бути однако-вим. Значення модуля m стандартизовано СТ СЭВ 310-706; ряд 1: 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; ряд 2: 1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5,5; 5,7; 9; 11; 14; 18; 22 мм (необхідно віддавати перевагу першому ряду).

Початкові діаметри

$$d_{w1} = \frac{2a_w}{\frac{z_2}{z_1} + 1} \quad \text{і} \quad d_{w2} = 2a_w - d_{w1}.$$

У некорегованих передачах і при сумарному зміщенні $x_\Sigma = 0$

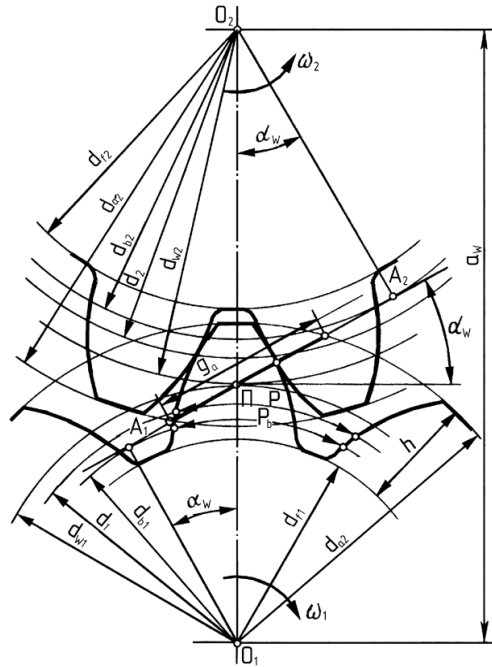


Рис. 3.7. Геометричні параметри зубчастих передач

$$d_{w1} = d_1 = mz_1; \quad d_{w2} = d_2 = mz_2.$$

При нарізанні коліс із зміщенням ділильна площа рейки зміщується до центра або від центра заготовки на xm (x - коефіцієнт зміщення вихідного контуру). Зміщення від центра вважають позитивним ($x > 0$), а до центра - від'ємним ($x < 0$).

Міжосьова відстань $a_w = 0,5(d_{w1} + d_{w2})$ або $a_w = m(0,5z_\Sigma + x_\Sigma - \Delta y)$, де $z_\Sigma = z_1 + z_2$; $x_\Sigma = x_1 + x_2$. Δy - коефіцієнт вирівнюючого зміщення при $x_\Sigma \neq 0$ (знаходиться за ГОСТ 16532-70).

Для передач без зміщення і при $x_1 = -x_2$ або $x_\Sigma = 0$ міжосьова відстань: $a_w = 0,5m(z_1 + z_2)$.

Висота зуба $h = m(2h_a^* + c^* - \Delta y)$.

Діаметр вершин зубів $d_a = d + 2m(h_a^* + x - \Delta y)$ - це коло, яке обмежує висоту зубів; діаметр западин $d_f = d - 2m(h_a^* + c^* - x)$ - це коло, яке обмежує глибину западин. Тут h_a^* - коефіцієнт висоти головки зуба (за ГОСТ 13755-81 $h_a^* = 1$), c^* - коефіцієнт радіального зазору (за ГОСТ 13755-81 $c^* = 0,25$).

Для коліс без зміщення: $h = 2,25m$; $d_a = d + 2m$; $d_f = d - 2,5m$. A_1A_2 - лінія зачеплення - загальна дотична до основних кіл; g_a - довжина активної лінії зачеплення; Π - полюс зачеплення - точка дотику початкових кіл і одночасно точка перетину лінії центрів коліс O_1O_2 з лінією зачеплення.

Коефіцієнт торцевого перекриття ε_α і зміна навантаження на профілі зуба. При обертанні коліс лінія контакту зубів переміщується в полі зачеплення (рис. 3.8, а), яка обмежується активною лінією g_a і робочою шириною зубчастого вінця b_w .

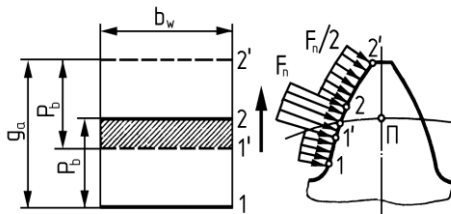


Рис. 3.8. Переміщення лінії контакту зубів в полі зачеплення

Якщо основний коловий крок $p_b < g_a$, то на початку поля зачеплення буде знаходитись лінія контакту 1 першої пари зубів, а в середній частині поля - лінія контакту 2 другої пари зубів. При обертанні коліс лінії 1 і 2 переміщуються в напрямку, вказаному стрілкою. Коли лінія контакту 2 займе положення 2', то друга лінія контакту 1 займе положення 1'. На ділянці 1'...2 зачіплюється лише одна пара зубів. Однопарне зачеплення триває до тих пір, поки лінія контакту 1 не займе положення 2, коли знову почнеться двопарне зачеплення. Зона однопарного зачеплення 1...2 на профілі зуба (рис. 3.8, б) займає його середню частину і знаходиться в районі полюса зачеплення 2 (див. рис. 3.7). В зоні однопарного зачеплення зуб передає повне навантаження F_n , а в зоні двопарного зачеплення - лише половину навантаження F_n . Розмір зони однопарного зачеплення залежить від коефіцієнта торцевого перекриття $\varepsilon_\alpha = g_a / P_b$, тобто це відношення довжини активної лінії g_a до основного кроку P_b . За умови безперервності зачеплення і плавності ходу повинна витримуватися нерівність $\varepsilon_\alpha \geq 1$.

Величина коефіцієнта ε_α характеризує плавність зачеплення, він показує скільки зубів в середньому знаходиться в зачепленні.

Для зубчастих передач без зміщення коефіцієнт ε_α визначають за формулою

$$\varepsilon_\alpha = [1,88 - 3,2(1/z_1 + 1/z_2) \cos \beta, \quad (3.6)$$

де z_1 і z_2 - число зубів шестерні і колеса; β - кут нахилу лінії зуба косозубчастого колеса; для прямозубчастих коліс $\cos \beta = 1$.

Ковзання і тертя в зачепленні.

У точці контакту С (рис. 3.9) спостерігається перекошування і ковзання зубів.

Швидкість ковзання v_s в т. С

$$v_s = e(\omega_1 + \omega_2),$$

де e - відстань від точки контакту до полюса П.

Таким чином, швидкість ковзання пропорційна відстані e від точки

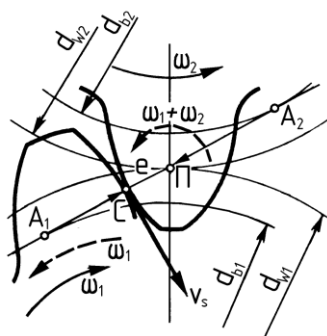


Рис. 3.9. Ковзання і тертя в зачепленні

контакту до полюса II . В полюсі II швидкість ковзання v_s дорівнює нулю. Відносно профілю зубів максимальне ковзання спостерігається на ніжках і головках зубів. Ковзання супроводжується тертям. Тертя є причиною втрат в зачепленні і причиною спрацювання зубів.

Миттєві значення передаточного відношення i в процесі обертання періодично змінюються (при $i_{cp} = const$). Зміна передаточного відношення i приводить до порушення точності кінематичних ланцюгів, які виконують слідкуючі, ділильні та вимірні функції в верстатах, приладах і т.п., до виникнення додаткового динамічного навантаження, ударів та шумів у зачепленні.

3.4 Точність виготовлення зубчастих передач

Основними помилками виготовлення зубчастих коліс є помилки кроку і форми профілю зубів та помилки в напрямку зубів відносно твірної ділильного циліндра.

Помилки кроку і профілю порушують кінематичну точність і плавність роботи передачі.

Помилки в напрямку зубів у сполученні із перекосом валів приводять до нерівномірності розподілу навантаження за довжиною зуба.

Стандарт ГОСТ 1643-81 регламентує 12 ступенів точності, стандарт ISO 1328 має додатковий клас точності «0», кожний із яких характеризується нормами кінематичної точності, плавності роботи та контакту зубів.

Ступінь точності вибирається залежно від призначення й умов роботи передачі. Найбільш поширеними є передачі високоточні (6 ступінь), точні (7 ступінь), середньої точності (8 ступінь), пониженої точності (9 ступінь).

Розмір бокового зазору, необхідного для виключення заклинювання зубів, регламентується стандартом: H - нульовий, E - малий, C і D - зменшений, B - нормальний, A - збільшений зазори.

Таблиця 3.1.

**Вимоги до точності найбільш поширених в машинобудуванні
зубчастих передач**

Ступінь точності, не нижче	Колова швидкість, м/с, не більше		Область використання передач
	прямо- зубча- сті	косо- зубча- сті	
6 – високо- точні	15	30	Високошвидкісні передачі, механізми точного кінематичного зв'язку – ділильні, відлікові і т.п. Передачі при підвищених швидкостях і помірному навантаженні або при підвищених навантаженнях і помірних швидкостях. Передачі загального машинобудування, які не вимагають особливої точності. Тихохідні передачі із пониженими вимогами до точності
7 – точні	10	15	
8 – середньої точності	6	10	
9 – пониженої точності	2	4	

Стандарт регламентує також допуски на міжосьову відстань й інші параметри.

В табл. 3.1 приведено вимоги до точності найбільш поширених в машинобудуванні 6, 7, 8-го, а також 9-го ступеню точності.

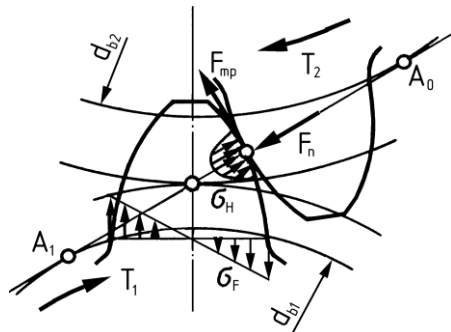


Рис. 3.10. Умови роботи зуба в зачепленні

3.5 Умови роботи і види руйнування зубів

Умови роботи зубів в зачепленні. При передаванні обертаючого моменту в зачепленні, крім нормальної сили F_n , діє сила тертя $F_m = F_n f$ (f - коефіцієнт тертя), яка зв'язана із ковзанням зубів (рис. 3.10). Під дією цих сил в зубі створюється складний напружений стан. Основний вплив на його працездатність чинять два види напруги: контактна σ_n і згинальна σ_F .

Напруги σ_n і σ_F змінюються в часі за переривчастим віднульовим циклом. Змінні напруження, які виникають у матеріалі зубів, є причиною їх руйнування від втоми.

Руйнування зубів може бути двох видів:

- руйнування від великого перевантаження статичної або ударної дії (рис. 3.11); його попереджують, враховуючи перевантаження при розрахунках, або захищаючи привод від перевантаження;

- руйнування від втоми, яке виникає від дії змінної напруги протягом тривалого часу (рис. 3.12); його попереджують шляхом визначення розмірів зубів при розрахунках на втомленість.

Загальні заходи попередження руйнування зубів: збільшення модуля, позитивне



Рис. 3.11. Руйнування зубів від великого перевантаження статичної або ударної дії



Рис. 3.12. Руйнування поверхні зубів від втоми

зміщення при нарізанні зубів, термообробка, наклепування, зменшення навантаження по краях зубів.

Руйнування поверхні зубів зв'язано із контактною напругою і тертям.

Викришування поверхні зубів від втомленості є основним видом їх руйнування при експлуатації в нормальних умовах.

При цьому спрацювання зубів незначне, в їх поверхневому шарі поступово з'являються ознаки втомленості, виникають невеликі заглиблення, які зростають і перетворюються у раковини. Викришування починається біля полюсної лінії на ніжках зубів, де навантаження передається однією парою зубів.

Основні заходи попередження викришування поверхні зубів: визначення їх розмірів за результатами розрахунків на втомленість за контактною напругою, підвищення твердості матеріалу шляхом термообробки, підвищення ступеня точності.

Абразивне спрацювання є основною причиною руйнування передач при поганому змащенні.

До цих передач належать відкриті передачі, а також закриті, але погано захищені від забруднення мастила абразивними частинками. Це передачі гірничорудних, транспортних, вантажопідйомних, сільськогосподарських машин. У спрацьованій передачі збільшуються зазори в зачепленні і, як наслідок, зростають динамічне навантаження і шум, зменшується площа поперечного перерізу і міцність зубів.

Основні заходи попередження спрацювання: підвищення твердості поверхні зубів, захист від забруднення, використання спеціальних мастил.

Заїдання спостерігається у високонавантажених і високошвидкісних передачах.

У місці дотику зубів розвивається висока температура, що приводить до розриву масляної плівки і створення металевго контакту. При цьому виникає зварювання матеріалу і подальший відрив частинок металу від поверхні контактуючих зубів.

Заходи попередження - ті ж самі, що й проти спрацювання. Крім того, бажано фланкування зубів, інтенсивне охолодження мастила, використання спеціального протизадирного мастила підвищеної в'язкості.

Пластичний зсув характерний для важконавантажених тихохідних зубчастих коліс, виготовлених із м'якої сталі.

При перевантаженні передачі на м'якій поверхні зубів виникають пластичні деформації з подальшим зсувом у напрямку ковзання.

Попереджають пластичні зсуви шляхом підвищення твердості робочої поверхні зубів.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення механічної передачі.
2. Охарактеризуйте область використання механічних передач.
3. Назвіть дві основні групи механічних передач, наведіть приклади передач кожної групи.
4. Які дві основні задачі вирішуються за допомогою механічних передач?
5. Які типи валів розрізняють у механічних передачах?
6. Назвіть основні характеристики механічних передач.
7. Назвіть похідні характеристики механічних передач.
8. Яка залежність використовується для визначення к.к.д.?
9. Яка залежність використовується для визначення передаточного відношення?
10. Що таке редуктор?
11. Що таке мультиплікатор?
12. Яка залежність використовується для визначення потужності механічної передачі?
13. Яка залежність використовується для визначення обертового моменту механічної передачі?
14. Опишіть математично зв'язок між обертовими моментами на веденому T_2 і ведучому T_1 валах:
15. Дайте визначення зубчастої передачі.
16. Який принцип дії зубчастих передач?
17. Де використовуються зубчасті передачі?

18. Назвіть переваги у використанні зубчастих передач?
19. Назвіть недоліки у використанні зубчастих передач?
20. Як розрізняють зубчасті передачі за розміщенням осей валів?
21. Як розрізняють зубчасті передачі за розміщенням зубів на ободі?
22. Як розрізняють зубчасті передачі за формою профілю зубів?
23. Як розрізняють зубчасті передачі за конструктивним оформленням?
24. Яка різниця між шестернею та колесом у зубчастих передачах?
25. Дайте короткі відомості про геометрію зубчастих передач.
26. На якій ділянці поверхні зуба існує однопарне зачеплення передачі?
27. На якій ділянці поверхні зуба існує двопарне зачеплення передачі?
28. Чи існує ковзання та тертя в зубчастих передачах?
29. Назвіть основні помилки виготовлення зубчастих коліс.
30. До яких наслідків приводять помилки кроку і профілю зубів?
31. До яких наслідків приводять помилки в напрямку зубів у сполученні із перекосом валів?
32. Охарактеризуйте вимоги до точності виготовлення зубчастих передач в різних умовах експлуатації.
33. Охарактеризуйте умови роботи зуба в зачепленні.
34. Які два види руйнування зубів може бути?
35. Які загальні заходи попередження руйнування зубів Вам відомі?
36. З якими факторами зв'язано руйнування поверхні зубів?
37. Які існують основні заходи попередження руйнування поверхні зубів?
38. Назвіть основні причини викришування поверхні зубів та способи їх попередження.
39. Назвіть основні причини абразивного спрацювання поверхні зубів та способи їх попередження.
40. Назвіть основні причини заїдання зубів та способи їх попередження.