

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та  
фундаментальних дисциплін**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни «Матеріали та деталі»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт  
Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів**

**тема – Підшипники**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 22.02.2024 №2

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 17.01.2024 №6

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з гуманітарних та соціально-  
економічних дисциплін  
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 № 14

**Розробник:**

*Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, спеціаліст вищої категорії, Сіора А.С.*

**Рецензенти:**

- 1. Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.*
- 2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.*

### План лекції:

1. Призначення опор валів і осей.
2. Конструкція вузла опори кочення.
3. Конструкція підшипника кочення.
4. Класифікація підшипників кочення.
5. Переваги та недоліки підшипників кочення.
6. Особливості кінематики підшипників кочення.
7. Розподіл навантаження між тілами кочення.
8. Напружено-деформований стан деталей підшипників кочення. Види та причини відмов підшипників кочення.
9. Критерії працездатності та розрахунку.
10. Особливості конструювання опор із підшипниками кочення.
11. Призначення підшипників ковзання.
12. Класифікація підшипників ковзання.
13. Умови роботи гідродинамічних підшипників ковзання.
14. Види відмов, критерії працездатності та фактори, які впливають на працездатність підшипників ковзання.
15. Розрахунки підшипників ковзання.

### Рекомендована література:

#### Основна

1. Більченко О.В., Дудка О.І., Лобода П.І. Матеріалознавство. Навчальний посібник, Київ, К.Кондор, 2009 – 152 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є, Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів, Навчальний посібник, Київ, «Либідь», 2002 – 327 с.
3. Животовська К.О, Мамлюк О.В. Авіаційні матеріали та їх обробка. Навчальний посібник, Київ, "Вища освіта", 2003 – 303 с.
4. Гарнець В.М. Матеріалознавство Підручник. Київ, К.Кондор, 2009
5. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство Навчальний посібник, Львів, 2002. – 264 с.
6. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М., Байдула В.О., Товстушко М.М. Деталі машин. Практикум. Навч. посіб. К.: Кондор, 2009. – 278 с.
7. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин: Підручник. — Львів: Афіша, 2003. — 557 с.
8. Коновалюк Д. М. Деталі машин: підручник / Д. М. Коновалюк, Р. М. Ковальчук. - К.: Кондор, 2004. - 584 с

#### Додаткова

9. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин. Курсове проектування: Навч. посіб. – 3-тє вид., стереотипне. –Львів: “Новий Світ – 2000”, 2007. 252с.

10. Малащенко В.О., Павлине В.Т. Деталі машин. Збірник завдань та прикладів розрахунків. Львів: Видавництво Новий Світ – 2000, 2009. – 136 с.

11. Мархель І.І. Деталі машин. Навчальний посібник. — Видавництво Алерта, 2016. — 368 с.

12. Дмитро Коновалюк, Рю Ковальчук, В. Байбула, М. Товстушко. Деталі машин. Практикум. – Видавництво Кондор, 2009 – 278с.

13. Анурьев В.І. Довідник конструктора-машинобудівника. - В 3 т. - М.: Машинобудування, 2001. – 859 с.

14. Міняйло А.В., Тіщенко Л.М., Мазоренко Д.І. та ін. Деталі машин: Підручник. – К.: Агроосвіта, 2013. – 448 с.

15. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 275 с.

16. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. Навч. посіб. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2006. — 196 с., 2009. — 208 с.

17. Павлице В.Т., Данило Я.Я. Різьби, різьбові з'єднання та кріпильні деталі: Довідник. — Львів: Інтелект-Захід, 2001. – 239 с.

## Текст лекції

### 1. Призначення опор валів і осей

Опорами валів і осей є підшипники, які:

- 1) визначають положення валів і осей у просторі;
- 2) виконують радіальну та осьову фіксацію валів і осей;
- 3) забезпечують вільне обертання цих деталей;
- 4) сприймають навантаження від валів та осей і передають його на корпус, раму та ін.

За видом тертя підшипники поділяють на:

- 1) підшипники кочення;
- 2) підшипники ковзання.

До опор висувають такі вимоги:

- 1) надійність радіальної та осьової фіксації;
- 2) жорсткість;
- 3) мінімальний опір обертанню (особливо в період пуску);
- 4) точність руху завдяки точності центрування (**центрування** – збіг осей коліс, валів і опор);
- 5) мала чутливість до зміни температури;
- 6) стійкість під час роботи в умовах трясіння, вібрацій, ударів;
- 7) висока зносостійкість спряжених поверхонь;
- 8) висока довговічність;
- 9) малі габарити;
- 10) невисока вартість виготовлення, складання, експлуатації.

## 2. Конструкція вузла опори кочення

Конструкція вузла опори кочення і сили (радіальна  $F_r$  та осьова  $F_a$ ), які діють на вал, зображені на рис.13.1, де позначені:

- 1 – цапфа;
- 2 – корпус (нерознімний або рознімний);
- 3 – підшипник кочення;
- 4 – кришка підшипника (фланцева або закладна, глуха або з отвором);
- 5 – прокладка (регулювальна або захисна);
- 6 – пробка, яка закриває отвір для подачі густого мастила;
- 7 – ущільнення.

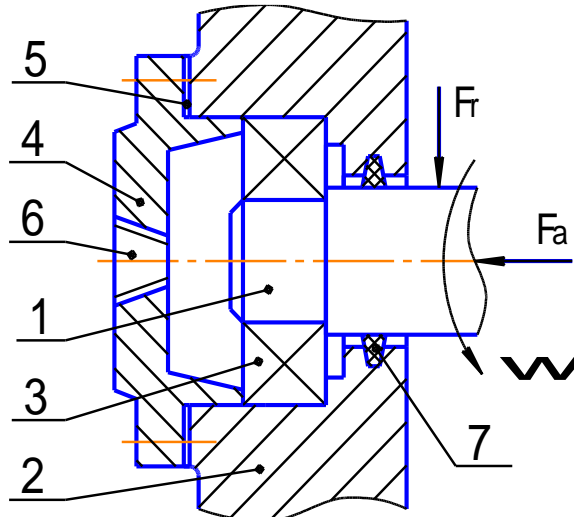


Рисунок 1 – Конструкція вузла опори кочення

## 3. Конструкція підшипника кочення

Підшипник кочення (рис. 2) складається із внутрішнього 1 і зовнішнього 2 кілець із доріжками кочення, тіл кочення (кульок або роликів) 3 і сепаратора 4, що розділяє й направляє тіла кочення. Крім зазначених, можуть бути інші конструктивні елементи.

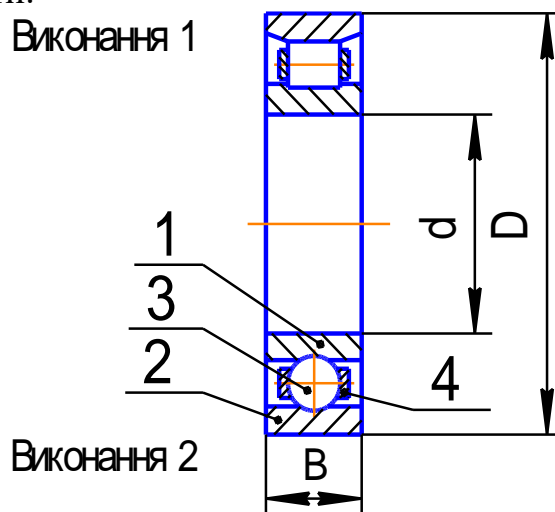


Рисунок 2 – Підшипник кочення

У підшипниках можуть бути відсутні всі зазначені елементи, крім тіл кочення, бо важливо відокремити поверхні рухомого вала та нерухомого корпусу.

Основні розміри:

$d$ ,  $D$  – номінальні діаметри відповідно кільця внутрішнього та зовнішнього;

$B$  – ширина.

#### 4.Класифікація підшипників кочення

Усі конструкції підшипників кочення класифікуються за ознаками, покладеними в основу ГОСТ 3395-89.

За напрямком дії сприйманого навантаження:

- 1) радіальні, що сприймають в основному радіальне навантаження  $F_r$  ;
- 2) упорні, що сприймають тільки осьове навантаження  $F_a$ ;
- 3) радіально-упорні, що сприймають одночасно радіальне  $F_r$  і осьове  $F_a$  навантаження;
- 4) упорно-радіальні, що сприймають в основному осьове навантаження  $F_a$  і значно менше радіальне  $F_r$ .

За формою тіл кочення:

- 1) кулькові;
- 2) роликові (рис. 13.3): а) з циліндричними роликами;
- б) з конічними роликами; в) з голчастими роликами;
- г) з бочкоподібними роликами; д) із витими роликами.

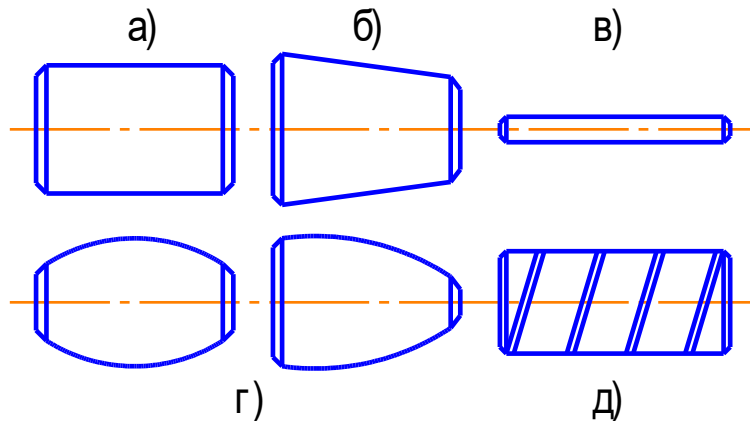


Рисунок 3 – Форми роликів

За числом рядів тіл кочення:

- 1) однорядні;
- 2) дворядні;
- 3) чотирирядні.

За розмірами (з одним і тим самим внутрішнім діаметром  $d$ ):

- 1) радіальними: надлегкі; особливо легкі; легкі; середні; важкі;
- 2) шириною: особливо вузькі; вузькі; нормальні; широкі; особливо широкі.

За здатністю до самовстановлення:

- 1) несамовстановлювальні;
- 2 – самовстановлювальні (сферичні); в яких внутрішня поверхня зовнішнього кільця сферична (рис.4), що дозволяє поворот внутрішнього кільця разом із тілами кочення відносно зовнішнього, не порушуючи працездатності підшипника, на кут  $\theta = 2 - 4^\circ$  (для підшипників інших типів  $\theta \leq 0,5^\circ$ ).

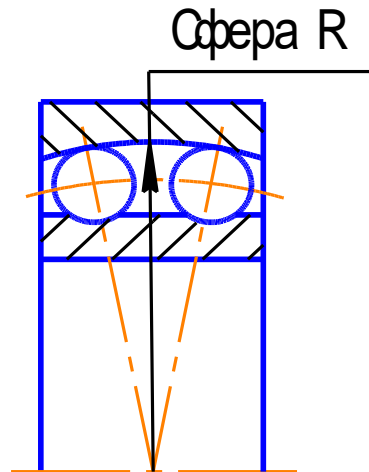


Рисунок 4 – Кульковий сферичний підшипник

За класом точності:

- 1) нормальної точності (клас 0);
- 2) підвищеної точності (класи 6, 5, 4, 2).

Класи точності підшипників характеризують точність основних розмірів (значення граничних відхилень розмірів, форми, розташування поверхонь) і точність обертання (радіальні й бокові биття доріжок, биття торців кілець). Точність зростає у міру зменшення номера класу. Із збільшенням точності зростає вартість підшипника.

## 5. Переваги та недоліки підшипників кочення

Основні переваги підшипників кочення порівняно з підшипниками ковзання:

- 1) малий коефіцієнт тертя  $f = 0,0015 - 0,006$ , а отже, менші моменти сил тертя і відповідно теплотворення в підшипнику;
- 2) малі габарити за шириною;
- 3) високий ступінь стандартизації;
- 4) низькі вимоги до матеріалу і термічної обробки валів;
- 5) незначна витрата кольорових металів і мастильних матеріалів;
- 6) простота обслуговування підшипників.

Недоліки:

- 1) низька довговічність при великих частотах обертання та вібраційних і ударних навантаженнях;

- 2) низька демпфірувальна здатність;
- 3) значні габарити за діаметром.

Шарикопідшипники швидкохідніші та дешевші від роликкових, які мають вищу навантажувальну здатність, потребують жорстких валів і самі більш жорсткі, ніж шарикопідшипники.

Голчасті підшипники використовують при:

- 1) дуже стиснених радіальних габаритах;
- 2) колових швидкостях вала до 5 м/с;
- 3) коливальних рухах (муфти карданних валів, поршневі пальці).

## 6. Особливості кінематики підшипників кочення

Кінематику підшипників кочення необхідно знати для вивчення силових дій на тіла кочення; визначення числа циклів навантаження і розрахунку підшипників на довговічність; вивчення роботи сепаратора.

Підшипник кочення з кінематичної точки зору подібний до планетарного механізму (рис.13.5). Причому колова швидкість сепаратора  $V_C = 0,5 \cdot V_1$ , де  $V_1 = \omega D_1 / 2$  – колова швидкість внутрішнього кільця.

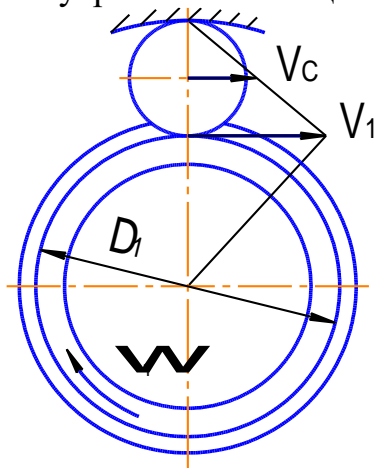


Рисунок 5 – План швидкостей для деталей підшипника

### 13.7. Розподіл навантаження між тілами кочення

Осьова сила  $F_a$  на підшипник кочення розподіляється між усіма  $Z$  тілами кочення, причому можна припустити, що осьова сила на одне тіло  $F_{a1} = F_a / Z$ .

Радіальну силу  $F_r$  на підшипник сприймають лише тіла кочення, розміщені на дузі, яка не перевищує  $180^\circ$ , тобто не більше за половину тіл кочення (рис.6). Найбільше навантаженням буде тіло, що перебуває на векторі сили  $F_r$ . Максимальне радіальне навантаження на це тіло можна приблизно визначити за формулою  $F_{r1 \max} = F_0 \approx 5 F_r / Z$ .



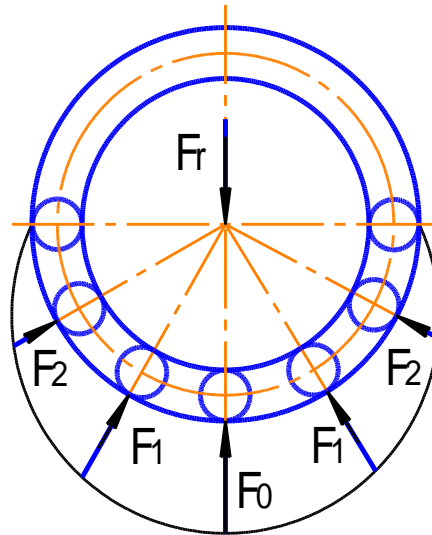


Рисунок 6 – Схема розподілу радіального навантаження між тілами кочення

## 8. Напружено-деформований стан деталей підшипників кочення. Види та причини відмов підшипників кочення

Деформації та напруження в тілах кочення та кільцях змінні. При цьому на працездатний стан істотно впливають контактні напруження, які змінюються за віднульовим (пульсуючим) циклом.

Змінні контактні напруження високого рівня і наявність ефекту перекочування по кільцях із пружною деформацією в поверхневому шарі після певного числа циклів навантажень приводить до утворення на доріжках кочення і кульках утомних мікротріщин, які розклинюються мастилом, що проникає в них. Це призводить до прогресивного викришування поверхонь.

Утомне викришування є основною причиною виходу з ладу підшипників. Крім того, можливі руйнування (розколи) кілець, тіл кочення і сепараторів. При динамічних і великих статичних навантаженнях можуть утворюватися вм'ятини (лунки) на робочих поверхнях. У процесі роботи в абразивному середовищі спостерігається спрацювання (зношення) кілець і тіл кочення.

Зовнішніми ознаками, що свідчать про якесь пошкодження підшипника і необхідність його заміни, є:

- 1) втрата точності обертання;
- 2) підвищений шум;
- 3) підвищений опір обертанню;
- 4) нагрівання.

## 9. Критерії працездатності та розрахунку

Головні критерії працездатності підшипників кочення:

- 1) циклічна міцність або контактна витривалість;
- 2) статична міцність, коли підшипник обертається із частотою  $n < 1$  об/хв;
- 3) зносостійкість, яка забезпечується відповідним матеріалом і твердістю поверхонь, а також удосконаленням конструкції ущільнень і мастила.

Проектуючи опори з підшипниками кочення, необхідно добирати типорозмір (тип і розмір) підшипника зі стандартного ряду згідно з рекомендаціями ГОСТ. Підшипники добирають:

- 1) за динамічною вантажопідйомністю  $C$  для забезпечення циклічної міцності;
- 2) за статичною вантажопідйомністю  $C_0$  для забезпечення статичної міцності і запобігання залишковим деформаціям.

**Динамічна вантажопідйомність  $C$**  (наводиться в каталозі) – стале радіальне або осьове (для упорних підшипників) навантаження, при якому у 90% підшипників випробуваної партії впродовж  $10^6$  обертів внутрішнього кільця не буде утомних пошкоджень.

**Статична вантажопідйомність  $C_0$**  (наводиться в каталозі) – статичне навантаження, якому відповідає загальна залишкова деформація тіл кочення та кілець у найнавантаженішій точці контакту, яка дорівнює 0,0001 діаметра тіла кочення.

Тип підшипника добирають залежно від:

- 1) конструктивних особливостей опори (призначення підшипника);
- 2) частоти обертання;
- 3) значення та напрямку навантаження;
- 4) режиму роботи;
- 5) вимог до жорсткості;
- 6) умов монтажу та демонтажу і вартості підшипника.

Підшипники, які працюють при змінних режимах навантажування, що відповідає переважній більшості випадків експлуатації, підбирають за **еквівалентним навантаженням**. Під еквівалентним розуміють умовне стале навантаження, при дії якого забезпечується така ж сама довговічність підшипника, як і при справжніх дійсних умовах навантаження.

Коли тип підшипника відомий і заданий діаметр вала, з каталогу вибирають розмір (серію) підшипника з урахуванням умови

$$C_p \leq [C] = C_{\text{табл}},$$

де  $C_p$ ,  $[C]$  – динамічна вантажопідйомність відповідно розрахункова (потрібна) та паспортна (з таблиці за каталогом).

Коли типорозмір підшипника вибрано і відомий призначений в годинах ресурс підшипника  $[L]$ , проводять розрахунок на довговічність – розраховують ресурс підшипника  $L$  та перевіряють виконання умови  $L \geq [L]$ . Якщо ця умова не задовольняється, переходять на важчу серію, змінюють тип підшипника або збільшують діаметр вала.

## 10. Особливості конструювання опор із підшипниками кочення

У процесі конструювання опор необхідно правильно вибрати способи встановлення підшипників, посадки та кріплення (фіксації) їх на валу і в корпусі, спосіб їх мащення та конструкцію ущільнювальних пристроїв.

Можливі схеми установки підшипників наводяться в підручниках. Наприклад, при використанні радіальних шарикопідшипників найчастіше вибирають схему з однією фіксованою опорою, а іншою – „плаваючою”. У фіксованій опорі внутрішнє кільце фіксують на валу, а зовнішнє – у корпусі. Для „плаваючої” опори – внутрішнє кільце закріплюють на валу, а зовнішнє має можливість виконувати осьове переміщення.

Гарантований зазор між зовнішнім кільцем підшипника і кришкою підшипника (рис. 13.1)  $\Delta = 0,2 - 1,0$  мм і забезпечується стальними прокладками. Такий зазор потрібний для компенсації неточностей виготовлення, монтажу та температурних деформацій.

Змащення підшипників кочення виконується для відведення тепла й зменшення тертя, демпфірування коливань навантаження, попередження корозії контактуючих поверхонь. Крім того, змащення важливе для підвищення герметизації підшипників, а також для зменшення шуму.

Для змащування підшипників кочення застосовують рідкі, пластичні й тверді мастильні матеріали. При виборі мастильного матеріалу необхідно враховувати розміри підшипника й частоту його обертання, величину навантаження, робочу температуру, стан навколишнього середовища.

Способи мащення підшипників рідкими маслами:

- 1) занурення підшипника в масляну ванну (рівень масла не повинен перевищувати центра нижнього тіла кочення);
- 2) розбризкування одним із швидкообертючих коліс або кілець із загальної масляної ванни вузла;
- 3) краплинне мащення;
- 4) мащення під дією відцентрових сил.

Ущільнення підшипникових вузлів запобігають їх забрудненню та витіканню масла.

Основні вимоги до ущільнень: герметичність; мале тертя; високі довговічність і надійність.

Існують контактні та безконтактні способи ущільнювання.

До контактних належать ущільнення за допомогою повстяних або фетрових кілець при  $V = 5$  м/с і манжет при  $V < 10$  м/с.

До безконтактних ущільнень належать щільові, лабіринтні, відцентрові та комбіновані.

Підшипники монтують або в нагрітому стані (нагрівають у масляній ванні до температури  $80 - 100$  °С), або за допомогою пресів (гідравлічних, гвинтових), або легкими ударами через мідний (алюмінієвий) вибивач.

Демонтують підшипники за допомогою спеціальних знімачів.

Загальне правило монтажу та демонтажу підшипників – не можна передавати силу через тіла кочення.

### Теми для додаткового самостійного вивчення

1. Типи, конструкції і призначення підшипників кочення.
2. Система умовних позначень підшипників кочення.
3. Розрахунки підшипників кочення.
4. Матеріали деталей підшипників кочення.
5. Способи встановлення підшипників, посадки кілець на вал і в корпус.
6. Етапи проектування підшипникових вузлів.
7. Шляхи підвищення надійності, довговічності та швидкохідності підшипників.

## 11. Призначення підшипників ковзання

Підшипники ковзання – це опори обертових деталей, які працюють в умовах ковзання поверхні цапфи по поверхні підшипника. Найпростішим підшипником ковзання можна вважати втулку (рис. 7), посаджену на вал із гарантованим зазором, в якому повинно перебувати мастило. Основні розміри підшипника – діаметр цапфи  $d$  і довжина вкладиша.

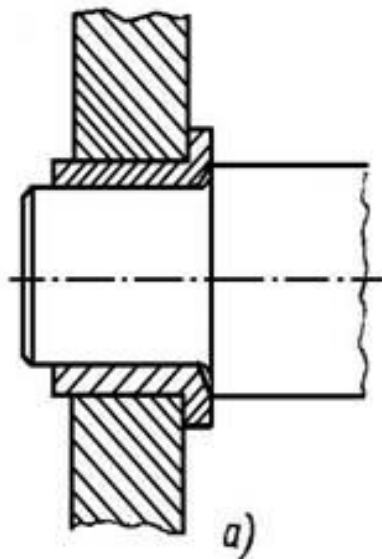


Рисунок 7 – Цапфа в опорі ковзання

Конструкції важко навантажених і високошвидкісних опор ковзання складаються з корпусу, вкладишів, мастильного, захисного і охолоджуючого пристроїв. **Вкладиші** підшипників – є робочими елементами, що взаємодіють безпосередньо з опорною частиною вала.

Підшипники ковзання використовують:

- 1) при великих навантаженнях і особливо високих частотах обертання (більше 10000 об/хв);
- 2) при стиснених габаритах за діаметром;

- 3) у **прецизійних машинах**, де потрібні особливо точний напрям вала та можливість регулювання зазору;
- 4) при ударних і вібраційних навантаженнях;
- 5) у різних опорах (опорах колінчастих валів);
- 6) в особливо забруднених умовах і в опорах, які постійно перебувають у воді або в інших агресивних середовищах, де підшипники кочення непридатні через корозію;
- 7) у невідповідальних вузлах дешевих тихохідних механізмів.

## 12. Класифікація підшипників ковзання

За напрямком сприйманих навантажень підшипники ковзання поділяють на дві основні групи:

- 1) радіальні, ще їх називають **опорними**, призначені для сприйняття навантажень, перпендикулярних до осі вала;
  - 2) упорні, що призначені для сприйняття осьових навантажень.
- Упорні підшипники ковзання, що служать для фіксації горизонтальних валів в осьовому напрямку і мають незначні навантаження, називають **торцевими**.

Упорні підшипники ковзання, що встановлюються на вертикальних валах, називаються **підп'ятниками**.

Для підшипників ковзання цапфи можуть бути циліндричними, конічними або кулястими.

Залежно від виду мастила підшипники поділяють на:

1 – гідравлічні:

- а) **гідродинамічні**, у яких тиск рідкого мастила в зазорі між цапфою і вкладишем створюється завдяки обертанню цапфи;
- б) **гідростатичні**, у яких тиск рідкого мастила в зазорі створюється насосом;

2 – газові:

- а) **газодинамічні**, у яких тиск газового мастила в зазорі створюється завдяки обертанню цапфи;
- б) **газостатичні** (тиск газу в зазорі забезпечується насосом).

## 13. Умови роботи гідродинамічних підшипників ковзання

Підшипники ковзання гідродинамічного тертя набули значного поширення в техніці. Принцип роботи цих підшипників пояснюється гідродинамічною теорією змащення, згідно з якою рідкі мастильні матеріали – масла завдяки своїм властивостям (маслянистості та динамічній в'язкості) здатні утворювати на спряжених поверхнях цапфи і вкладишів тонкі плівки, чинити опір

зміщенню одного шару рідини відносно іншого та утворювати піднімальні сили в рідинному шарі.

Розглянемо роботу радіального гідродинамічного підшипника ковзання (рис. 8).

У підшипнику ковзання вал завжди встановлюється з певним зазором, який заповнюється мастилом. Якщо вал не обертається ( $\omega=0$ ), то під дією радіального навантаження  $F_r$  він займає ексцентричне положення в підшипнику і зазор набуває серпоподібної форми клинової щілини (рис. 8 а).

У процесі обертання цапфи масло завдяки маслянистості та в'язкості захоплюється у клиновий зазор, тобто цапфа діє подібно насосу, нагнітаючи масло в зазор. Завдяки цьому у підшипнику створюється гідродинамічний тиск  $P$ , здатний зрівноважити навантаження  $F_r$ . При цьому цапфа спливає і займає ексцентричне положення (рис. 14.2 б), причому між її поверхнею та підшипником утворюється масляний шар, товщина якого залежить від властивостей масла, колової швидкості  $\omega$  і навантаження  $F_r$ .

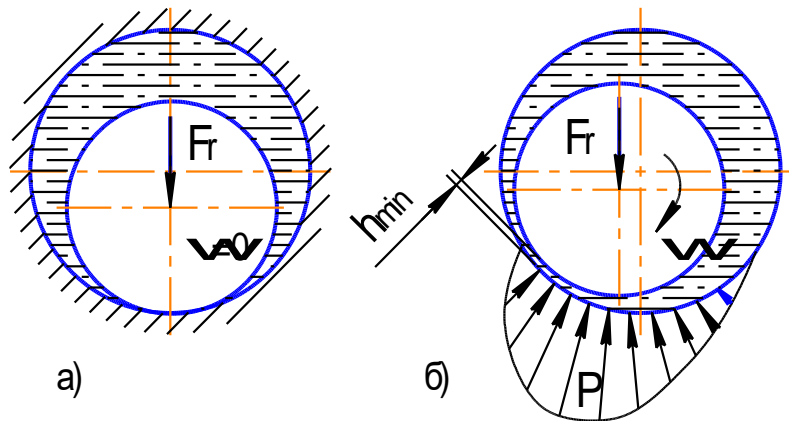


Рисунок 8 – Положення вала в підшипнику й схема виникнення несучого мастильного шару

#### **14. Види відмов, критерії працездатності та фактори, які впливають на працездатність підшипників ковзання**

Основні види відмов підшипників ковзання:

1) спрацювання (у тому числі абразивне), яке спостерігається при частих пусках і зупинках, а також у разі недостатньої захищеності від потрапляння абразивів;

2) схоплювання через незабезпеченість потрібного теплового режиму і при малих зазорах;

3) поломки вкладишів, утомне викришування та відшаровування заливки вкладишів при змінному навантаженні.

Основний критерій працездатності підшипників ковзання – зносостійкість. Тому цапфа та вкладиші повинні утворювати антифрикційну пару. Вкладиші виготовляють з антифрикційного чавуну, металокераміки, бронзи, латуні,

капрону, гуми, графіту та ін. У більшості випадків вкладиші біметалеві: основу (із сталі, бронзи, алюмінієвих сплавів та ін.) заливають тонким шаром бабіту (сплаву олова та свинцю) та ін.

Несуча здатність підшипника також залежить від відношення довжини підшипника до діаметра цапфи  $l/d$ . Зменшення довжини  $l$  при незмінному діаметрі  $d$  призводить до збільшення витікання мастила через торці й зменшення несучої здатності підшипника. Однак підшипники з малим відношенням  $l/d$  менш чутливі до перекосів, що виникають при монтажі або деформації вала. Оптимальним є відношення  $l/d = 0,8 - 0,9$ .

При обертанні цапфи робота сил тертя нагріває підшипник і цапфу до температури, що не повинна перевищувати деякого граничного значення, що допускається для певного матеріалу підшипника і сорту мастила. З підвищенням температури знижується в'язкість масла, збільшується ймовірність заїдання цапфи в підшипнику, можливе виплавлення вкладишів. Для запобігання перегріву підшипника застосовують заходи щодо охолодження мастила або конструкції опори.

## 15. Розрахунки підшипників ковзання

Спочатку виконують умовні розрахунки підшипників, а потім – уточнені гідродинамічні та теплові.

Обмежимося розглядом умовних розрахунків.

1. Для тихохідних механізмів, машин із частими пусками й зупинками, при коливальному русі (втулки важелів, підшипники ресор та ін.), коли повинна виконуватися умова невидавлювання мастильного матеріалу, проводять розрахунок за допустимим тиском у підшипнику. Міцність вкладиша при такому статичному навантаженні залежить від питомого умовного тиску  $p$  на вкладиш, який не повинен перевищувати допустимий тиск  $[p]$ , залежний від типу машини:

$$p = F_r / (ld) \leq [p].$$

2. Оскільки змащувальна здатність мастила в підшипнику залежить від тепловиділення в зоні контакту, а воно, у свою чергу, залежить від питомого тиску  $p$  на цапфу й колової швидкості  $v$ , то для підшипників середньої швидкохідності необхідно дотримуватись умови

$$pv \leq [pv].$$

Розрахунок за параметром  $p \cdot v$  у наближеній формі поперед-жає інтенсивне зношування, перегрівання і заїдання. Допустимі значення  $[pv]$  встановлюються з досвіду експлуатації машин.

Для швидкохідних машин розрахунки підшипників ковзання базуються на рівняннях гідродинаміки.

**Теми для додаткового самостійного вивчення**

1. Типи і конструкції опор із підшипниками ковзання.
2. Розрахунки підшипників ковзання.
3. Умови роботи гідростатичних, газодинамічних і газостатичних підшипників ковзання.
4. Конструкції і матеріали підшипників ковзання „сухого” тертя, які працюють без мастила.
5. Конструкції та використання підп'ятників ковзання.
6. Тепловий розрахунок швидкохідних підшипників ковзання.
7. Способи підведення мастила до підшипників і підп'ятників ковзання.