

# ТЕМА 10. Будова, монтаж, технічне обслуговування і ремонт електричних машин змінного та постійного струмів. (12 год)

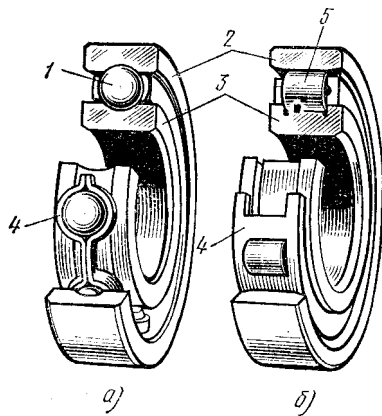
## Урок №66. Підшипники електричних машин.

Підшипники електричних машин, конструкції опор підшипників кочення і ковзання. Змащення підшипників.

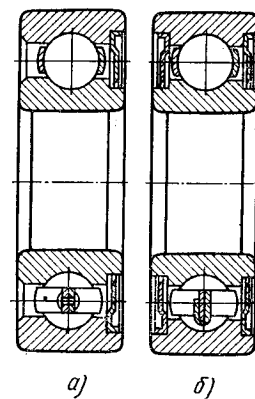
### Підшипники кочення

Підшипники кочення знайшли широке використання в електричних машинах. Вони менше зношуються, ніж підшипники ковзання, що особливо важливо для машин з малим повітряним зазором, мають менші втрати на тертя, можуть значний час працювати без заміни мастила. В даний час майже всі малі і середні машини, а також мікромашини випускають з підшипниками кочення.

Залежно від сприйманого навантаження підшипники кочення поділяють на радіальні, упорні і радіально-упорні. Радіальні підшипники в основному сприймають силу, направлену перпендикулярно осі обертання (радіальна сила). Вони допускають також і невеликі осьові навантаження, що дозволяє використовувати їх для фіксації ротора від осьових переміщень. Упорні підшипники сприймають лише осьове навантаження і застосовуються в основному в машинах з вертикальним валом.



Мал. 66.1. Радіальний однорядний шарикопідшипник (а) і роликовий підшипник (б)



Мал. 66.2. Шарикопідшипник закритого типу: а – з однією захисною шайбою, б – з двома захисними шайбами

За формою тіл кочення розрізняють кулькові (мал. 66.1, а) і роликові (мал. 66.1, б) підшипники. Підшипник кочення складається з двох кілець: зовнішнього 2 і внутрішнього 3. Між ними розміщені тіла кочення: кульки 1 або ролики 5. Для їх рівномірного розміщення по колу служить [сепаратор](#) 4. На кільцях з боку, дотичного з кульками або роликами, розташовані доріжки кочення, виконані у вигляді кільцевих поглиблень або поясоків.

У малих електричних машинах застосовують підшипники закритого типу з однією (мал. 66.2, а) або двома (мал. 66.2, б) захисними шайбами. Ці підшипники не вимагають

установки в машині спеціальних ущільнюючих пристроїв для утримання мастила, оскільки ущільнення вбудовані в сам підшипник у вигляді металевих шайб, запресованих в зовнішнє кільце.

Кулькові підшипники зазвичай виготовляються з штампованим сепаратором з листового матеріалу. Штампований сепаратор 4 (див. мал. 66.1, а) складається з двох змійкових напівсепараторів, які сполучені між собою заклепками (див. мал. 66.2, а), електрозварюванням або заломленими вусиками (див. мал. 66.2, б). У клепаному варіанті ослабляється перетин сепаратора в місці отворів під заклепки, окрім цього ускладнюється технологія збірки підшипника через додаткову операцію установки і розклепування заклепок. Зварна конструкція сепаратора більш технологічна, але менш надійна. З'єднання сепаратора вусиками дозволяє автоматизувати процес збірки підшипника, але вимагає двох різновидів напівсепараторів.

Роликові підшипники виготовляють з масивними клепаними або цільними сепараторами.

У електричних машинах застосовують роликові підшипники з короткими циліндричними роликами з двома бортами на внутрішньому або зовнішньому кільці, а також з двома бортами на зовнішньому кільці і одним на внутрішньому. Підшипники з бортами на зовнішньому і внутрішньому кільцях можуть сприймати не лише радіальні, але і осьові навантаження.

Роликові підшипники, як правило, можуть бути розібрані: кільце, що не має [буртиків](#) або що має лише один [буртик](#), може бути зняте з підшипника. Роликові підшипники завдяки розбірній конструкції зручніші для монтажу, але більш чутливі до перекосів осі валу відносно гнізд в щитах, ніж шарикопідшипники.

В підшипників при одних і тих же внутрішніх діаметрах можуть бути різний зовнішній діаметр і ширина. Ці три розміри визначають серію підшипника і його вантажопідйомність. Розрізняють легку, середню і важку серії.

У малих машинах в обох опорах встановлюють кулькові підшипники. Роликові підшипники завдяки більшій контактній поверхні між роликами і доріжками кочення можуть сприймати більші радіальні навантаження, ніж кулькові тих же розмірів. Тому їх зазвичай застосовують в підшипникових вузлах з боку приводу машин середньої потужності.

Підшипники в електричних машинах насаджують на вал з натягом (посадка П або Н 2-го класу точності), зовнішні їх кільця зазвичай мають вільнішу посадку в гнізді щита.

Внутрішнє кільце підшипника після посадки на вал розтягується. Деформація кільця прямо пропорційна величині натягу  $\Delta$  і призводить до зменшення радіального зазору підшипника на величину  $\delta_1 = 0,6\Delta$ , мкм. Надмірний натяг може призвести до недопустимого зменшення початкового зазору підшипника.

Відсутність зазору призводить до затискання тіл кочення між кільцями і тугого обертання, відбувається заклинювання підшипника. Бігові доріжки і тіла кочення при цьому інтенсивно зношуються, і підшипник передчасно руйнується.

Розрізняють радіальні зазори: початковий (табл. 66.1), посадочний, вимірюваний після монтажу підшипника, і робочий. Останній відрізняється від посадочного через різні температури зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника. Корпус охолоджується краще, ніж вал, тому температура зовнішнього кільця нижча приблизно на 5-100С. Це призводить до зменшення зазору в підшипнику.

Основний ряд зазору в більшості випадків забезпечує нормальну роботу підшипника. При посадках з великим натягом і при великій різниці температур між кільцями застосовують додаткові ряди - 7-й і 8-й – зі збільшеними зазорами. Додатковий 6-й ряд зі зменшеним зазором застосовується для забезпечення підвищеної точності обертання.

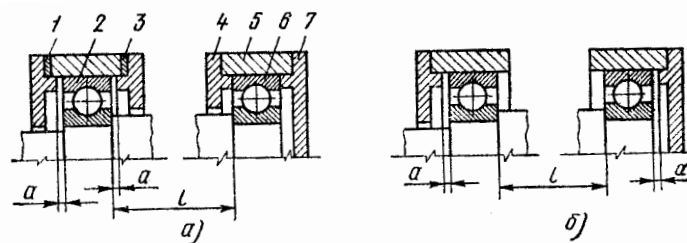
*Таблиця 66.1. Радіальний початковий зазор в радіальних однорядних шарикопідшипниках.*

Внутрішні діаметри підшипників, мм		Додатковий ряд		Основний ряд		Додаткові ряди			
		6-й		-		7-й		8-й	
		Зазор, мм							
вище	до	найменший	найбільший	найменший	найбільший	найменший	найбільший	найменший	найбільший
10	18	5	14	8	22	16	30	23	38
18	24	5	15	10	24	18	33	25	41
24	30	5	16	10	24	18	33	28	46
30	40	5	16	12	26	21	39	33	51
40	50	5	16	12	29	24	42	35	56
50	65	8	20	13	33	28	48	43	66
65	80	8	20	14	34	29	55	51	76
80	100	8	23	16	40	34	62	58	89

Радіальний зазор підшипників контролюють на спеціальному пристосуванні. Одне з кілець (внутрішнє або зовнішнє) закріплюють на нерухомій основі і підтискають з торця гайкою. Зазор вимірюють індикатором під навантаженням, величина якого обумовлюється в стандарті залежно від типу і розміру підшипника. Спочатку навантаження прикладають на незакріплене кільце в одному напрямі і відзначають початковий показ індикатора, потім - в протилежному. Переміщення стрілки індикатора показує величину зазору.

### Підшипникові вузли з підшипниками кочення

У малих електричних машинах і мікромашинах, де навантаження невеликі, застосовують кулькові однорядні радіальні підшипники. Зовнішнє кільце одного з підшипників 6 (мал. 66.3, а) зазвичай затискають в щиті 5 між фланцями 4 і 7. Оскільки внутрішнє кільце має нерухому посадку і притиснуте до [буртика](#) валу, цей підшипник визначає положення ротора відносно статора машини в осьовому напрямі. Така підшипникова опора називається фіксованою. Другий підшипник 3 встановлюється в «плаваючій» опорі, що забезпечує його вільне переміщення в щиті в осьовому напрямі. Щоб уникнути заклинювання підшипників, зазори  $a$  повинні бути більше суми допусків на осьові розміри корпусних деталей і валу з врахуванням зміни довжини валу і корпусу при нагріванні. У машинах з фіксованою опорою осьовий розгін ротора визначається осьовою грою шарикопідшипника і дорівнює десятим долям міліметра. При [уніфікації](#) щитів і фланців зазори в плаваючій опорі витримують за допомогою дистанційних шайб 1 і 2.



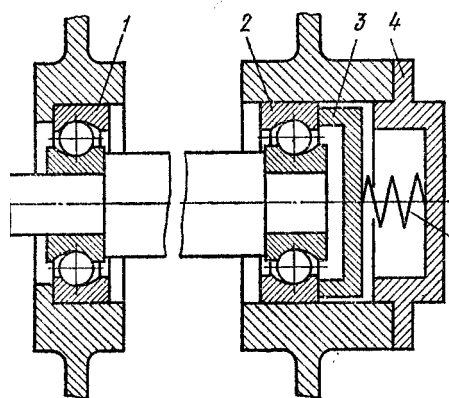
Мал. 66.3. Установка шарикопідшипників:  $a$  – з фіксованою опорою,  $b$  – в розпір;  $l$  – відстань між підшипниками,  $a$  – зазор між фланцем і підшипниками

З метою спрощення конструкції в малих машинах застосовується також установка шарикопідшипників в розпір (мал. 66.3, б). Внутрішні фланці в таких машинах зазвичай відсутні. Щоб уникнути заклинювання підшипників, з обох боків залишають зазори  $a$ . Осьовий розгін ротора при такій конструкції визначається величиною цих зазорів.

У середніх машинах опора з боку привода, особливо при ремінних передачах, виявляється навантаженою такою значною силою, що вантажопідйомності кулькового підшипника виявляється недостатньо. У цих випадках встановлюють роликовий підшипник. Зовнішні кільця закріплюють в осьовому напрямі в обох підшипниках. Плаваючою опорою служить роликовий підшипник, в якого тіла кочення можуть переміщатися уздовж машини по кільцю, що не має бортів. При великих навантаженнях на обидві опори встановлюють роликові підшипники з обох боків машини. Для фіксованої опори вибирають роликопідшипник з бортами на зовнішньому і внутрішньому кільцях. В цілях [уніфікації](#) застосовують два однакові підшипники з бортами на зовнішньому і внутрішньому кільцях.

Необхідний осьовий розгін ротора витримується за рахунок зсуву внутрішнього кільця підшипника відносно зовнішнього кільця в осьовому напрямі.

Для нормальної роботи підшипників кочення необхідна певна величина робочого зазору, щоб забезпечити вільне перекочування кульок і роликів. Підвищений зазор порушує точність обертання ротора (відбувається зсув осі валу відносно осі гнізд під підшипники в щитах в межах половини величини зазору), а також може призвести до прослизання тіл



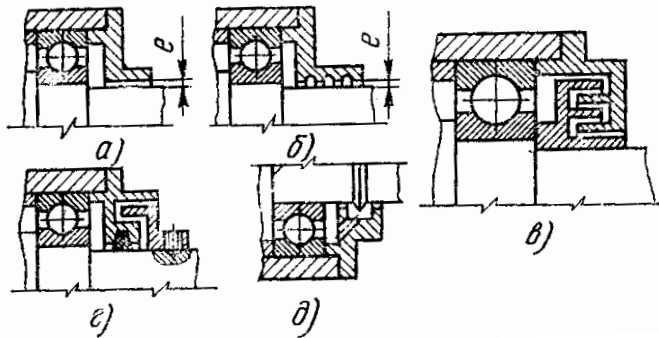
Мал. 66.4. Схема установки шарикопідшипників з попереднім осьовим навантаженням

кочення і інтенсивного зносу підшипників. Щоб виключити шкідливий вплив підвищених зазорів, в малих електричних машинах застосовується установка кулькових підшипників з попереднім осьовим навантаженням (попереднім натягом). У плаваючій опорі між фланцем 4 (мал. 66.4) і торцем зовнішнього кільця 2 підшипника встановлюється пружина 5, яка переміщує зовнішнє кільце 2 і через кульки весь ротор у бік другого підшипника 1. Правильно вибране зусилля попереднього натягу забезпечує спокійнішу роботу підшипника, притискаючи всі кульки до бігових доріжок, і підвищує довговічність підшипника. Надмірний натяг, створюючи значне навантаження на підшипник, зменшує його довговічність. Тому при ремонті машини величина осьового зусилля, що діє на підшипник, має бути збережена. Пружина може давити на кільце безпосередньо або через проміжну деталь 3. Зазвичай застосовують пружини у вигляді гофрованих шайб, які займають трохи місця по довжині машини. Такі пружини встановлюють між торцем фланця і зовнішнім кільцем підшипника. Для регулювання зусилля пружини передбачають дистанційні шайби.

Підшипник в щиті вмонтовується зазвичай по вільній посадці, яка не перешкоджає провертанню його зовнішнього кільця. Повільне провертання кільця (один оберт за декілька хвилин) допустиме і навіть корисне, оскільки при цьому радіальне навантаження, що передається через тіла кочення, діє по черзі на різні точки доріжки зовнішнього кільця. Проте повільне обертання практично важко здійснене; кільце, встановлене по посадці без натягу, обертається з більшою швидкістю. Це призводить до вироблення гнізда в щиті і передчасного виходу з ладу підшипника. Тому не можна допускати ослаблення посадки підшипників в гнізда щита.

Провертання внутрішнього кільця підшипника на шийці валу виключається посадкою його з натягом. Кільце щільно обтискає вал і сили тертя, що виникають при цьому, між поверхнями надійно його стопорять.

Підшипникові вузли забезпечують спеціальними пристроями - ущільненнями, які захищають підшипник від попадання в нього зовні пилю, бруду і вологи, а також перешкоджають витіканню мастила з підшипникового вузла.



Мал. 66.5. Ущільнення підшипникових вузлів:  
 а – з кільцевим зазором, б – з жировими канавками, в – лабіринтне, г – комбіноване, д – з масловідбивним кільцем

У машинах знайшли широке використання ущільнюючі пристрої з кільцевим (мал. 66.5, а) зазором  $e$  і кільцевими (жировими) канавками (мал. 66.5, б). В умовах забрудненого середовища надійніші лабіринтові ущільнення (мал. 66.5, в). [Фетрові](#) ущільнення застосовуються при невеликих окружних швидкостях на шийці валу, що не перевищують 5 м/с для

шліфованих шийок і 8 м/с для полірованих. При підвищених швидкостях зростає температура за рахунок тертя [фетрового](#) кільця об вал. Кільце при нагріві твердне, унаслідок чого різко збільшується його знос і знижується ефективність ущільнення. У необхідних випадках встановлюють комбіновані ущільнення. Так, наприклад, фетрові кільця застосовують спільно з лабіринтами (мал. 66.5, г). Для запобігання витоку рідкого мастила широко використовуються масловідбивні кільця (мал. 66.5, д). Відкинуте кільцем масло накопичується в кільцевій проточці і зливається в підшипниковий вузол через отвір в нижній частині фланця.

### Підшипники ковзання

Підшипники ковзання по розташуванню поділяють на дві групи: щитові, вмонтовані в щити, і винесені - стоякові. У сучасних конструкціях в більшості випадків підшипники ковзання застосовують для крупних машин і закріплюють на стояках. Щитові підшипники зустрічаються в старих типах машин малої і середньої потужності.

У підшипниках ковзання шийка валу (цапфа) охоплюється втулкою (вкладишем). У щитових підшипниках вкладиш зазвичай виготовляють цілісним, в стоякових - роз'ємним, таким, що складається з двох половин з роз'ємом по горизонтальній площині, яка проходить через вісь валу. Для нормальної роботи зазор між цапфою і вкладишем повинен мати певну величину, залежну від діаметру цапфи, частоти обертання і навантаження на підшипник.

Зменшення тертя між цапфою і вкладишем досягається шляхом створення таких умов, при яких дотичні поверхні виявляються розділеними шаром мастила, тобто роботою в режимі рідинного тертя. Існують два способи створення рідинного тертя: гідродинамічний і

гідростатичний.

При першому способі розділовий шар мастила утворюється при обертанні валу. Необертова цапфа стикається з поверхнею вкладиша. При русі з місця між ними виникає напівсухе тертя. Із зростанням частоти обертання масло за рахунок в'язкості затягується в клиновий зазор між валом і вкладишем. В результаті стиснення в змащувальному шарі виникає підвищений тиск, який припідіймає вал. Створюється гідродинамічна підтримуюча сила, величина якої зростає пропорційно в'язкості масла і частоті обертання і зменшується із збільшенням зазору.

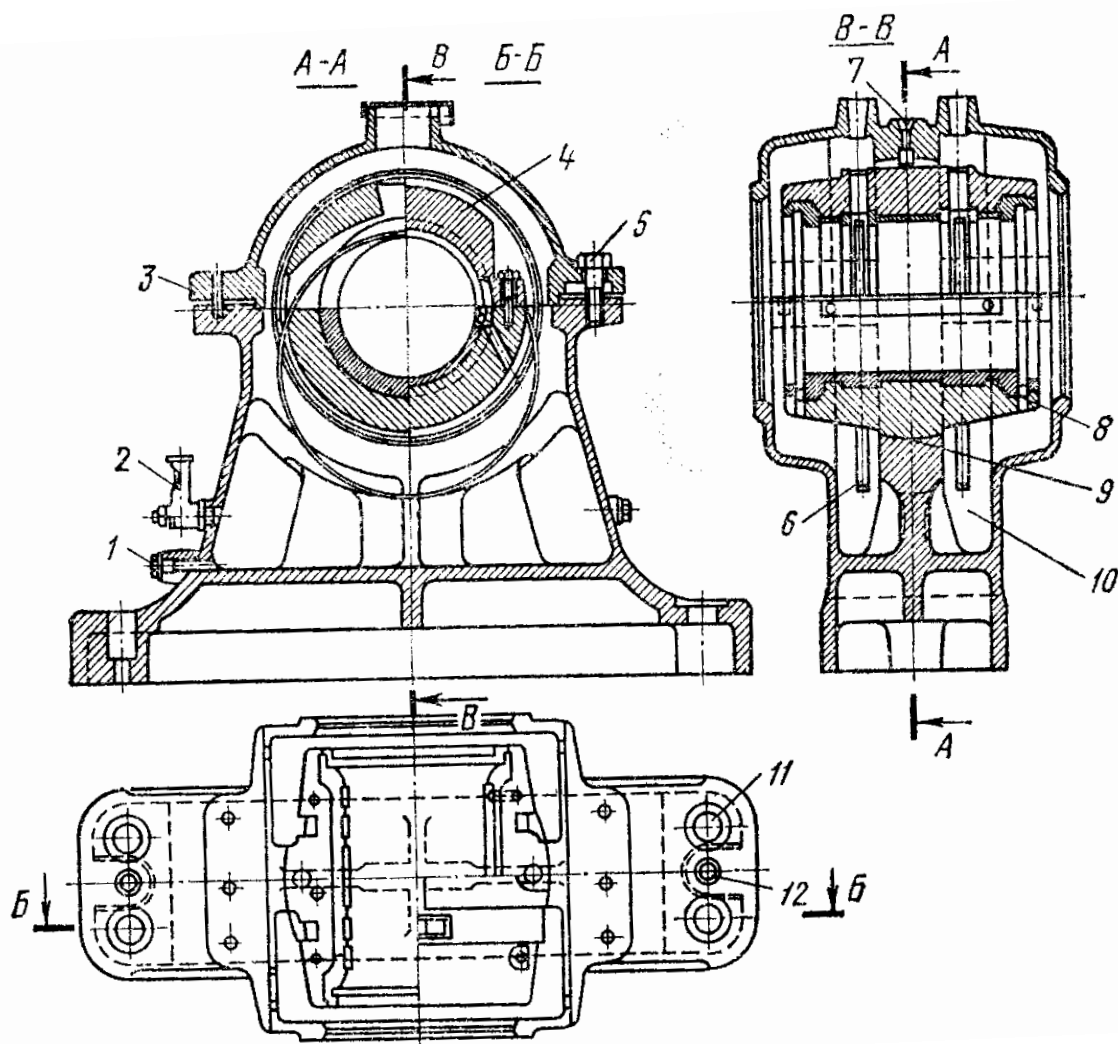
У гідростатичних підшипниках масляний шар між поверхнями, що труться, створюється шляхом підведення масла під тиском від насоса в нижню точку, де цапфа стикається з вкладишем. Гідростатичний спосіб дозволяє зменшити знос робочих поверхонь в процесі пуску і зупинки машини. При певному тиску і кількості масла, що подається, ротор підіймається і підтримується масляною плівкою незалежно від частоти обертання.

В стояковому підшипнику вкладиш 4 (мал. 66.6) встановлюють в спеціальне гніздо у верхній частині чавунного стояка. Для зручності монтажу ротора машини вкладиш виконується роз'ємним по горизонтальній площині. Верхня його половина притискається нижньою кришкою 3 за допомогою болтів 5, які угвинчуються в корпус стояка. Поверхню вкладиша, прилеглу до валу, заливають [антифрикційним сплавом - бабітом](#). Вкладиш має кільцевий поясок 9 із сферичною поверхнею, центр якої розташований на осі валу, завдяки чому вкладиш при перекосах вільно обертається разом з шийкою валу. Такі підшипники називаються самовстановлюваними. Гвинт 7 стопорить вкладиш від провороту, входячи в паз, розташований у верхній його половині.

Масло заливають в камеру 10. Для спостереження за його рівнем на стояку встановлений масловказівник 2 із скляною трубкою на якій є відмітки верхнього і нижнього рівнів. Злив масла виконується через отвір, закритий різьбовою пробкою 1 з ущільнюючою прокладкою. Підшипник кріпиться до фундаментної плити болтами через отвори 11. Після остаточного складання машини в отвори 12 встановлюють конічні штифти, що фіксують положення стояка на плиті. У плиті заздалегідь просвердлюють отвори, які розвертають на конус спільно з отворами 12.

Масло до поверхонь тертя підшипника подається кільцями 6, що входять в прорізи на верхній половині вкладиша. У зібраній машині кільця вільно лежать на шийці валу, нижні їх частини занурені в масло. При роботі масло подається в прорізи кільцями, що обертаються, і, розтікаючись по поздовжнім маслорозподільним канавкам, потрапляє на внутрішні поверхні вкладиша. Канавки не мають виходу на торцеву поверхню вкладиша, щоб не відбувалося виливання масла з робочої зони. Маслоуловлюючі кільцеві проточки з дренажними отворами 8 призначені для стоку масла в камеру стояка. Для забезпечення вільного обертання кільця

проріз роблять приблизно в 1,5 рази ширше за кільце і такої глибини, щоб кільце лягало на шийку вала.



Мал. 66.6. Стояковий підшипник ковзання

Змащувальні кільця при роз'ємних вкладишах роблять складеними для зручності збірки машини. Кільце занурюють в масло приблизно на 0,2-0,25 його діаметру. Зменшення рівня масла в процесі експлуатації до відомих меж не впливає на величину його подачі в підшипник. У машинах постійного струму кільця виготовляють з бронзи або латуні, оскільки сталеві кільця можуть намагнітитися.

В деяких випадках застосовується дискова подача мастила за допомогою кілець або дисків, що встановлюються на вал по нерухомій посадці. Диск купається нижнім краєм в маслі і при обертанні подає його у верхню частину підшипника, де воно знімається спеціальними шкребками і по каналах подається до поверхонь тертя.

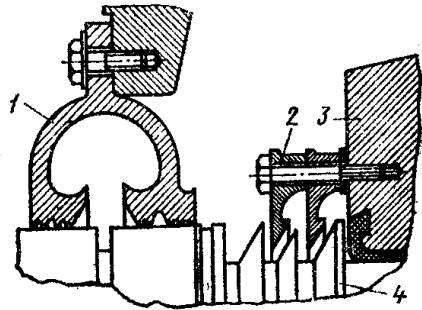
У високооборотних машинах застосовується циркуляційне мастило. При цьому способі масло подається до поверхонь, що труться, насосом під тиском. У реверсивних машинах подача масла виконується у верхню точку вкладиша, в нереверсивних - в горизонтальну



щілину з таким розрахунком, щоб масло захоплювалося при обертанні у верхню половину вкладиша.

Існують також і комбіновані способи змащування. Наприклад, при циркуляційному змащуванні встановлюють додатково маслоподаючі кільця. У крупних сильно навантажених підшипниках застосовується водяне охолодження. Вода циркулює по трубах, залитих в товщу бабіту.

Маслоуловлюючі канавки на вкладиші не можуть повністю виключити витікання масла по валу з підшипника. Тому до торцевої поверхні вкладишів 3 (мал. 66.7) прикріплюють додатково масловідбійні кільця 2, на валу виточують канавки за формою кілець і буртики 4. Масляна плівка, що поширюється уздовж валу по цапфі,



Мал. 66.7. Ущільнення підшипника ковзання

не може перейти через буртик, оскільки відцентрові сили відкидають її на більший діаметр. Бризки масла затримуються кільцями 2, потім стікають в масляну камеру підшипника. У швидкохідних машинах і машинах з циркуляційним змащуванням підшипників в місці виходу валу із стояка ставиться другий рівень ущільнення - лабіринт 1. Щитові підшипники ковзання зазвичай ущільнюють [фетровими](#) кільцями, встановленими в канавки, проточені в приливі щита в місці виходу валу з підшипника.