

### 3 АНТИФРИКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ОПОР КОВЗАННЯ

Вибір матеріалів пар ковзання, що працюють в режимі напіврідинного і рідинного змащування, є відповідальним етапом при проектуванні, тому що матеріал вкладиша визначає насамперед роботу підшипника в період пуску і зупинки.

Для підшипників, розрахованих на роботу в режимі рідинного тертя при середніх і помірних навантаженнях та швидкостях ковзання (до таких відносяться підшипники відцентрових насосів), застосовують майже виключно пластичні сплави у вигляді тонких шарів, які наносяться на сталеві (іноді бронзові) вкладиші і втулки. Сталева основа підшипника забезпечує його міцність і жорсткість, а робочий шар – експлуатаційні властивості матеріалів, а саме: антифрикційність, міцність, опір зношуванню, опір корозії, стабільність властивостей в часі. До матеріалів для підшипників ковзання також висуваються інші вимоги, наприклад технологічність, економічність, недефіцитність. Вибір антифрикційного матеріалу залежить від заданих умов роботи, які визначаються режимом змащування [1,3,4].

Для збільшення довговічності деталей, що труться, необхідно добирати такі антифрикційні матеріали, які в умовах тертя при граничному змащуванні забезпечують низьку температуру на поверхні тертя, що запобігає руйнуванню граничного змащувального шару. Такі матеріали мають низький коефіцієнт тертя ковзання та легко відводять тепло, що виділилося в робочій зоні, в навколишнє середовище або корпус машини, тобто характеризуються високою теплопровідністю і теплоємністю. При підборі матеріалу використовуються наступні властивості антифрикційних матеріалів:

1) сумісність матеріалів пар тертя - здатність не зношувати матеріал зв'язаної пари тертя, для чого необхідно підбирати матеріали вала і вкладиша різної твердості;

2) припрацювання - легкість пластичної деформації при терті або зношуванні, внаслідок чого досягається перерозподіл навантаження, що передається на підшипник, і зниження місцевого питомого тиску та температури;

3) здатність пружно деформуватися під навантаженням унаслідок низької величини модуля пружності, внаслідок чого також досягається більш рівномірний розподіл навантаження на поверхні підшипника;

4) втомна міцність, що характеризує можливість протистояти знакозмінним навантаженням;

5) сумісність зі змащувальною речовиною, що характеризується корозійною стійкістю, тобто впливом на окислення, і доброю змочуваністю змащувальною речовиною;

6) здатність утворювати міцний адсорбований граничний шар змащувальної речовини, коли взаємодія різних металів з мастилом різна, унаслідок чого умови, при яких граничний шар змащувальної речовини

втрачає свою міцність і несучу здатність, що залежить як від властивостей змащувального матеріалу, так і від природи матеріалу підшипника;

7) здатність за рахунок самозмащування до відновлення граничного змащувального шару в місцях його руйнування унаслідок перегріву, перерви в подачі змащувальної речовини і таке інше.;

8) здатність при місцевому руйнуванні граничного змащувального шару забезпечувати протягом можливо більшого часу низький коефіцієнт тертя і відсутність схоплювання і заїдання на валу.

Очевидно, що підібрати такий матеріал, який задовольняв би всім перерахованим властивостям в повній мірі досить складно. Тому матеріали розробляють відповідно до заданих навантажень та швидкостей, а також змащувальних умов. Такі матеріали створені на основі різних сплавів металів (бронзи, латуні, бабіти та ін.) або на основі неметалів, композиційних сполучень металів і неметалів (залізграфіт, графітопласти, металофторопласти, гума, дерево, текстоліт і таке інше).

Матеріали, які використовуються для підшипників ковзання, в основному можна розділити на метали, пористі метали і неметали.

Метали зазвичай застосовуються у вузлах тертя з підведенням змащувальної речовини ззовні: бабіти, бронза, сплави на цинковій або алюмінієвій основі, антифрикційні чавуни.

Розрізняють пластичні метали ( $<HB\ 50$ ): бабіти, свинцеві бронзи, пластичні алюмінієві сплави, срібло; м'які метали ( $HB\ 50-100$ ): м'яка бронза (олов'яні, олов'яно-свинцеві, олов'яно-свинцево-цинкові), алюмінієві сплави; і тверді підшипникові сплави ( $>HB\ 100$ ): тверда бронза (алюмінієво-залізна) і чавуни.

У підшипниках, які працюють в умовах граничного і напіврідинного тертя, що можливе при відносно великих навантаженнях і малих швидкостях ковзання, застосовуються м'які і тверді сплави. Для підшипників, розрахованих на роботу в зоні рідинного тертя при середніх і помірних навантаженнях і швидкостях ковзання (до таких відносяться підшипники відцентрових насосів), застосовують майже виключно пластичні сплави у вигляді тонких шарів, що наносяться на сталеві (рідше бронзові) вкладиші і втулки.

Чавуни - сплав заліза з вуглецем (понад 2,14 % вуглецю за масою) та іншими елементами, застосовують в опорах без ударних навантажень і при низьких швидкостях ковзання. Вони є найдешевшими матеріалами, проте при збільшенні швидкості ковзання їх несуча здатність різко знижується. Чавуни мають істотні недоліки - крихкість і велику твердість ( $HB\ 160-250$ ), чутливість до перекосів. Для забезпечення довговічності чавунних опор необхідно дотримуватися таких вимог: ретельний монтаж, що виключає перекоси; припрацювання опор на холостому ході з поступовим підвищенням навантаження до розрахункового; інтенсивне безперебійне змащування; твердість вкладиша з чавуну повинна бути на  $HB\ 20-40$  менше, ніж цапфи.

У опорах ковзання застосовують: сірий ливарний чавун (*СЧ 15-32, СЧ 18-36, СЧ 21-40*); антифрикційний легований сірий чавун (*АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3*); антифрикційний високоміцний (*АЧВ-1, АЧВ-2*) і антифрикційний ковкий чавун (*АЧК-1, АЧК-2*).

Кольорові антифрикційні сплави: бронза, латунь, алюмінієві і цинкові сплави, бабіти.

Бронзи - сплав міді з оловом, алюмінієм і іншими елементами. Застосовують для підшипників, що працюють при напіврідинному змащенні, невеликих швидкостях ковзання і помірному навантаженні. Хімічний склад бронзи визначається за маркою, літери якої вказують на компоненти, що входять до сплаву, а цифри - на приблизний вміст компонентів у відсотках. Значення літер: *А* - алюміній, *Ж* - залізо, *Мц* - марганець, *О* - олово, *С* - свинець, *Ф* - фосфор, *Ц* - цинк. Приклад позначення: *БрАЖМц 10-3-1,5* - бронза, що містить 10% алюмінію, 3% заліза, 1,5% марганцю, інше - мідь.

Олов'яні бронзи мають хороші антифрикційні властивості, особливо олов'яно-фосфорні, застосовуються для опор з великими навантаженнями при порівняно великих швидкостях ковзання. Проте вони досить дорогі і за механічною міцністю поступаються безолов'яним бронзам, особливо алюмінієвим і свинцевим бронзам. Алюмінієві бронзи, що містять залізо відрізняються високою міцністю і зносостійкістю. Свинцеві бронзи мають велику ударну в'язкість, вкладиші з цієї бронзи витримують значні знакозмінні і ударні навантаження. Недоліком свинцевої бронзи є знижена корозійна стійкість, вони прискорюють окислення змащувальної речовини і погане припрацювання.

Латуні використовують як замітники бронзи, вони мають гірші антифрикційні властивості, але набагато дешевші і мають більш високі міцнісні властивості, володіють більшою зносостійкістю. Ці матеріали застосовуються для підшипників при малій швидкості ковзання і з ударними навантаженнями, у ряді випадків замінюють олов'яну бронзу. Значення літер: *Л* - латунь, *К* - кремній. Приклад позначення: *ЛМцОС 58-2-2-2* - 58% - мідь, 2% - марганець, 2% - олово, 2% - свинець, інше - мідь.

Алюмінієві сплави володіють високою теплопровідністю, високою втомною міцністю і технологічністю, корозостійкістю, не викликають окислення. Олов'яні алюмінієві сплави володіють найвищими антифрикційними якостями. Недоліком алюмінієвих сплавів є знижене припрацювання і схильність до наволочування на вал.

Бабіти - м'які антифрикційні сплави на основі олова або свинцю з твердими зернами сплавів сурми, міді, лужних металів та ін. М'яка основа забезпечує добре припрацювання, а тверді зерна підвищують зносостійкість. Бабіти володіють низьким коефіцієнтом тертя, пластичністю. Недоліком цих матеріалів є низький опір втомленості та низька температурна стійкість. За антифрикційними властивостями бабіт перевершує всі інші антифрикційні сплави, але за механічною міцністю значно поступається бронзі і чавуну, тому його застосовують тільки для покриття робочої поверхні опори тонким

шаром. Термін служби підшипника залежить від товщини шару бабіту: зменшення товщини шару олов'яного бабіту від 0,75 до 0,075 мм збільшує термін служби підшипника в 4-6 разів.

Стандартизовано 8 марок бабітів, найдорожчий з них Б 83 (83 - характеризує зміст олова) на олов'яній основі. Його не рекомендують застосовувати при температурі нагріву більш ніж  $115^{\circ}\text{C}$  через зниження його твердості. Високоолов'яні бабіти Б 89 і Б 83 володіють найвищими антифрикційними якостями, великою теплопровідністю, корозійною стійкістю. Застосовуються при ударному навантаженні. Свинцево-олов'яні мають високі робочі температури, але при ударних навантаженнях тріскаються.

Металокерамічні антифрикційні матеріали виготовляють з порошків металу або їх сумішей з неметалами шляхом пресування і спікання з подальшим насичуванням їх мастилом. Самозмащувальні металокерамічні матеріали застосовують для підшипників, що працюють в умовах граничного змащування, при нестачі або повному відсутності змащування. Для виготовлення таких вкладишів застосовують наступні матеріали: пористе залізо, пористий залізграфіт і бронзографіт. Матеріали на залізній основі менш дефіцитні і мають вищі механічні властивості, можуть працювати у більш важких умовах, ніж бронзографітові.

Наявність пор і здатність вбирати великі кількості змащувальної речовини сприяє утворенню масляної плівки, подача змащувальної речовини здійснюється за рахунок капілярів. З підвищенням пористості механічна міцність зменшується. Дрібні порошки (низька пористість 12-20 %) застосовуються для важких умов роботи при великих ударних навантаженнях, середні (22-28%) - при середніх навантаженнях, крупні порошки (25-35%) - для роботи без додаткового змащування при малих навантаженнях.

Неметали використовують зазвичай у випадках, коли зовнішній підвід змащувальної речовини неприпустимий (за винятком гумових підшипників, які змащуються водою): вуглеграфітові матеріали, пластмаси та інше.

В якості матеріалів для підшипників також використовують пластики, тверді породи натурального дерева, посилену деревину, гуму, графіт. Ці матеріали застосовують в поєднанні з валами підвищеної твердості, при цій умові неметалічні підшипники мають високу зносостійкість. Неметалічні підшипникові матеріали мають низьку теплопровідність і майже всі краще працюють на воді, ніж на маслі.

Плаستي застосовують переважно при напіврідинному змащуванні при малих частотах обертання, при умові, коли неможливо підвести до опор регулярне змащування. Найчастіше застосовують феноласти (текстоліт), полікарбонати (діфлон), поліаміди (капрон, нейлон), фторопласти (тефлон). Такі матеріали мають малу твердість, низький модуль пружності, низьку теплопровідність, високий коефіцієнт лінійного розширення, низьку теплостійкість, погано піддаються механічній обробці. Зносостійкість і

антифрикційні якості пластиків високі. Головна область застосування пластиків - нанесення тонких (0,1-0,5 мм) покриттів на металеві поверхні, а також насичування поверхневого шару пористих антифрикційних металів, при цьому негативні особливості пластиків майже не впливають на роботу підшипника.

*Деревні матеріали* застосовують для підшипників, які несуть помірне навантаження при невеликих швидкостях ковзання, зі змащуванням водою (підшипники гідротурбін, водяних насосів, кранів і ін.). Використовують насичені мастилом або насичені під тиском пластичними смолами тверді деревні породи - гваякове дерево, бук, граб, самшит, як замітники - береза, клен, дубові породи. Вкладиші із деревинношарових пластиків набирають з брусків з розташуванням шарів перпендикулярно до поверхні тертя і кріплять в металевих корпусах.

Гума знайшла широке застосування для підшипників з водяним змащуванням в гідротурбінах, водяних насосах і ін. Такі підшипники являють собою металеві втулки, які облицьовані натуральними або синтетичними каучуками (хлор- і фторкаучуки, силіконові та полісульфідні каучуки). Опори з гумовими вкладишами стійкі до абразивного зносу, також малочутливі до перекосів і коливань вала, але не можуть працювати при припиненні подачі води, так як мають низьку теплопровідність, що веде до схоплювання робочих поверхонь. У гумі під дією кисню повітря, тепла і сонячного світла відбуваються структурні зміни, відбувається процес старіння - поверхня гуми твердішає і покривається тріщинами.

Вуглеграфіти - суміш графіту, вугілля, сажі і коксу на зв'язці з пеку і кам'яновугільних смол, спресовані і піддані спіканню. Порошкові матеріали на основі вуглецю пресуються з чистого графітового порошку і насичуються металом. Вони діляться на вуглецеві - обпалені (без насичення металами) і графітовані (з насичуванням металами); графітофторпластові і графітопластові. Після насичування металами вуглецеві матеріали стають непроникними для рідин і газів при високому тиску, підвищується їх міцність, поліпшується працездатність при терті.

Вуглеграфітові матеріали при роботі в парі зі сталевим валом забезпечують тим більш низький коефіцієнт тертя і зношування, чим більше містять графіту. При терті без змащування на поверхні утворюється орієнтована плівка кристалів графіту, що забезпечує необхідний коефіцієнт тертя і мінімальний знос. У процесі зношування графіту плівка відновлюється за рахунок зносу антифрикційного матеріалу. Вуглеграфіти працюють при високих температурах, мають хороші антифрикційні якості і хімічну стійкість, низький коефіцієнт лінійного розширення, малий знос, низьку ударну в'язкість. Недоліком їх є крихкість. Для збільшення міцності, теплопровідності і зносостійкості у вуглеграфіти вводять металеві порошки: мідь, кадмій, бабіт; а також насичують фенолоформальдегідами, силосанами і тефлоном, що зменшує крихкість.

При виборі матеріалів пари тертя використовують антифрикційні властивості самих матеріалів та їх взаємодію зі змащувальною речовиною. Хороший матеріал підшипників повинен мати незначне сухе тертя, незначну зношуваність, добре припрацювання та достатню тепловіддачу. Приведемо деяке порівняння антифрикційних властивостей матеріалів: коефіцієнт тертя при граничному змащуванні для матеріалів підшипників: бабіт олов'яний - 0,01-0,02; бабіт свинцевий - 0,015-0,025; бронза свинцева - 0,02-0,03; алюмінієві сплави - 0,03-0,04; *БрАЖ* - 0,04-0,05; чавун антифрикційний - 0,05-0,08. Коефіцієнт тертя по сталі знижують присадки до змащувальних речовин, наприклад колоїдального графіту, сірки.

Механічна міцність - міцність на стиснення металу підшипника при робочій температурі. Найм'якший з перерахованих матеріалів є бабіт.

Змочуваність змащувальною речовиною - здатність змащувальною речовиною утворювати адсорбовану плівку. Найкращі характеристики мають бабіти, бронза, латунь. Не змочується оливою - тефлон. Для підвищення адсорбації використовують різні присадки до змащувальних речовин.

Теплопровідність - характеризує здатність відводити тепло із зони тертя. Велике значення має при місцевому підвищенні температури при виникненні осередків напіврідного або граничного змащування. Кращу теплопровідність мають метали, малу - пластики.

Припрацювання - згладжування мікронерівностей і виступаючих ділянок поверхні підшипника, що утворюються внаслідок неточного виготовлення і монтажу. Мікро- і макронерівності усуваються у м'яких матеріалах, наприклад бабітах, а мікронерівності - у твердих, наприклад бронзах, чавунах.

Протизадирні властивості. Метали, схожі за атомно-кристалічними решітками і фізико-хімічними властивостями при граничному змащуванні зварюються, а підшипник схоплюється. Хороші протизадирні властивості мають мідно - олов'яні, мідно - алюмінієві, олов'яно – сурм'яні матеріали.

Зносостійкість - опір зношуванню. Чим більше твердість матеріалу, тим більше зносостійкість.

Корозійна стійкість - стійкість протистояти дії кислот в змащувальній речовині. Свинець, цинк, кадмій схильні до корозії. Насичення індієм запобігає корозії.

Хімічна нейтральність до змащувальної речовини. Свинець і мідь при збільшенні температури прискорюють окислення змащувальної речовини. Протиокиснювальними присадками є сірка, фосфор, азот.

Оброблюваність. Добре обробляються бабіти, пластичні бронзи і алюмінієві сплави, погано - тверді бронзи. Сталеві вали обробляються тим краще, чим більша твердість їх поверхні.

Критерієм вибору матеріалів є показник  $p_m \cdot V$  ( $p_m$  - питома навантаження,  $V$  - швидкість ковзання). Проте у разі рідинного змащування його не рекомендують застосовувати, тому що в ньому механічні ефекти (від тиску) змішуються з термічними (від того ж тиску і від швидкості ковзання).

Оскільки зміна значень  $p_m$  або  $V$  можуть суттєво впливати на частку несучої здатності, яка забезпечується за рахунок змащувального шару, то критерій  $p_m V$  може вводити в оману і при роботі підшипників в режимі напіврідинного змащування. Цей критерій може виявитися корисним лише для наближеної оцінки працездатності підшипників, особливо підшипників, що працюють без змащування.

При виборі матеріалу не можна використовувати лише дані про їх властивості, приведені в довідковій літературі. Оскільки багато властивостей підшипникових матеріалів є системнозалежними, їх неможливо розглядати без урахування умов застосування. Цим пояснюється різноманіття створених підшипникових матеріалів різного призначення. Вони можуть бути класифіковані таким чином: матеріали для роботи у вузлах тертя зі змащуванням; тертя без змащування, наприклад у середовищі повітря або вакуумі; для роботи при високих температурах; для роботи в агресивних середовищах і таке інше. У ряді випадків виявляється необхідним вибрати матеріал (особливо на основі критеріїв трибологічного характеру) за результатами лабораторних випробувань на стендах з імітацією умов застосування. Звичайно підбір матеріалів здійснюється на основі експериментальних даних і досвіду експлуатації вузлів.