

## ПРО НОВІ МОЖЛИВОСТІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ У ПОЛІГРАФІЧНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

У деяких випадках підшипники ковзання мають переваги над підшипниками кочення (малі розміри, незначна маса, простота у виготовленні та ін.). Особливо доцільно їх застосовувати у коливних шарнірах, в яких підшипники кочення, наприклад при роботі з малими зміщеннями, працюють незадовільно у зв'язку з виникненням фретінг корозії та інших шкідливих явищ.

Як показує аналіз проведених нами досліджень, у поліграфічному машинобудуванні застосовується велика кількість підшипників ковзання одностороннього та реверсивного руху. Більшість з них експлуатується в таких умовах: частота обертання  $n=0,8$ — $2,5$  об/с, питомі тиски  $p\sim 0,5$ - $4,0$  МПа, кут реверсу  $\varphi\sim 5$ - $90^\circ$  (для підшипників реверсивного руху). Номінальний діаметр підшипників ковзання в основному змінюється в межах  $16 \dots 50$  мм. Як змазуючі матеріали найчастіше використовують змазки УС-1, УС-2, И-30, И-45, що подаються періодично. Для виготовлення деталей підшипників застосовують матеріали: вал—сталь 45, сталь 35, сталь 20Х; втулка (підшипник) — бронза Бр. АЖ9-4, бронза Бр. ОЦС 4-4-3, чавун СЧ 18-36, чавун СЧ 28-48, сталь 45.

У переважній більшості випадків підшипники ковзання експлуатують в умовах напіврідкого або напівсухого тертя (згідно з класифікацією, прийнятою у праці [4]), чим і пояснюється їх підвищене спрацьовування. Найбільш спрацьовувані підшипники ковзання та їх середній строк дії за даними проведеного нами анкетного опитування представлені у табл. 1.

Важливе значення для підвищення довговічності підшипників має стійкість проти спрацьовування матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей підшипника, і особливо їх сумісність.

## Найбільш спрацьовувані підшипники ковзання поліграфічних машин

| № п.п | Машина | Механізм | Підшипник | Матеріал підшипника | Матеріал контртіла | Середній строк дії, міс. | Вид спрацювання (за класифікацією Б. І. Костецького [3]) |
|-------|--------|----------|-----------|---------------------|--------------------|--------------------------|--|
|-------|--------|----------|-----------|---------------------|--------------------|--------------------------|--|

## Складальне устаткування

|   |       |                           |                          |        |       |   |                                       |
|---|-------|---------------------------|--------------------------|--------|-------|---|---------------------------------------|
| 1 | Н-140 | Верхні транспортні лозки  | Підшипник ролика         | Сталь  | Сталь | 3 | Окислювальне спрацювання, схоплювання |
| 2 | „     | Важіль нижнього елеватора | „                        | „      | „     | 6 | „                                     |
| 3 | „     | Механізм збирача          | Підшипник на осі зірочки | Бронза | „     | 6 | „                                     |

## Друкарське устаткування

|    |            |   |                                    |        |       |    |                                       |
|----|------------|---|------------------------------------|--------|-------|----|---------------------------------------|
| 1  | 2ПД-5      | Фарбовий апарат                         | Підшипники циліндрів і валіків     | Бронза | Сталь | 6  | Окислювальне спрацювання              |
| 2  | „          | Друкарський циліндр                     | Підшипники вала клапанів           | „      | „     | 12 | „                                     |
| 3  | ПС-1М      | Механізм приводу талера                 | Підшипник ексцентричного пальця    | „      | „     | 6  | „                                     |
| 4  | ПС-А3      | Накатна група                           | Підшипники фарбових валіків        | „      | „     | 5  | „                                     |
| 5  | „          | Привід лопильного сектора               | Підшипник пальця                   | „      | „     | 8  | „                                     |
| 6  | „          | Друкарський циліндр                     | Підшипники вала клапанів           | „      | „     | 12 | „                                     |
| 7  | ПОЛ-6      | Зволожуючий апарат                      | Підшипники передавального циліндра | „      | „     | 8  | Окислювальне спрацювання, поломка     |
| 8  | ДЮК-70-4   | Механізм фальцапарату 2-го і 3-го згину | Підшипники вала                    | Бронза | Сталь | 12 | Окислювальне спрацювання, схоплювання |
| 9  | ГАУ        | Фальцапарат                             | Підшипники графійкового вала       | Бронза | Сталь | 10 | Окислювальне спрацювання              |
| 10 | „          | Папероведуча система                    | Підшипники регістрового вала       | Чавун  | „     | 6  | Схоплювання, окислювальне спрацювання |
| 11 | «Книга-84» | Складальний барабан фальцапарату        | Підшипник ексцентричного кулака    | Бронза | „     | 12 | Окислювальне спрацювання              |

| № п.п                                     | Машина       | Механізм                             | Підшипник                               | Матеріал підшипника | Матеріал контр-тіла | Середній строк дії, міс. | Вид спрацювання (за класифікацією Б. і. Костелького [3]) |
|---|--------------|--------------------------------------|---|---------------------|---------------------|--------------------------|--|
| 12  | «Книга — 84» | Складальний барабан фальцпарат       | Підшипники шпінделів (графітових основ) | Бронза              | Стаєв               | 6                        | Окислювальне спрацювання, схоплювання                    |
| 13  | „            | Малий фальцбарабан                   | Підшипники захвату                      | „                   | „                   | 3                        | „  |
| <b>Палітурно-брошувальне устаткування</b> |              |                                      |   |                     |                     |                          |  |
| 1   | НШ-6         | Механізм фальцобтиск ного кутка      | Підшипник пальця важеля                 | Бронза              | Сталь               | 6                        | Окислювальне спрацювання                                 |
| 2   | „            | Механізм приводу кочивання шн-берів  | Підшипник штока                         | „                   | „                   | 5                        | Окислювальне спрацювання, схоплювання                    |
| 3   | БШП-4        | Механізм гонного вала                | Підшипники головного вала               | Чавун               | „                   | 8                        | Окислювальне спрацювання                                 |
| 4   | ЛР-2М        | Гітара приводу                       | Підшипники паразитних шестерень         | Бронза              | „                   | 6                        | Окислювальне спрацювання, схоплювання                    |
| 5   | УПС          | Головний вал приводу і привідний вал | Підшипники валів приводу                | „                   | „                   | 12                       | Окислювальне спрацювання                                 |
| 6   | БРП-4М       | Механізм приводу                     | Підшипники валів приводу                | Бронза, Чавун       | „                   | 16                       | „  |
| 7   | „            | Механізм ножа                        | Підшипники механізму ножетримача        | Бронза              | „                   | 6                        | Інтенсивна пластична деформація (змицання)               |
| 8   | ЗБР-136      | Механізм ножа                        | Підшипники механізму ножетримача        | „                   | „                   | 6                        | Окислювальне спрацювання                                 |

Сумісною вважають таку пару тертя [3], яка в заданому діапазоні навантажувально-швидкісних факторів і умов середовища забезпечує мінімальне сумарне спрацювання.

Принципи підбору сумісних матеріалів до сьогодні не розроблені й оптимальні пари тертя, як правило, визначають дослідним шляхом. Спочатку при застосуванні антифрикційних матеріалів користувалися правилом Шарпі, відповідно до якого антифрикційність зумовлена специфічним мікрорельєфом матеріалу підшипника (м'яка основа та тверді включення). З часом виявлено необґрунтованість цієї гіпотези. Потім для деяких матеріалів

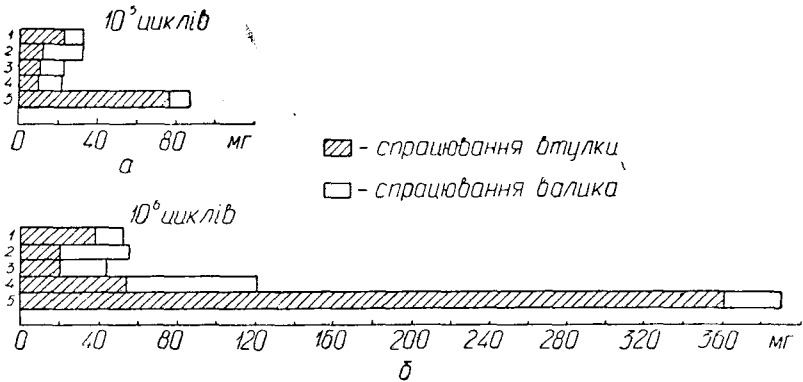
запропоновано так зване обернене правило Шарпі (тверда основа і м'які включення), яке також у багатьох випадках не підтверджується. Спільним, що об'єднує обидві гіпотези, є структурна неоднорідність підшипникового матеріалу. Тому гетерогенність структури почали вважати основною передумовою антифрикційності матеріалу.

Значний вклад у розробку принципів сумісності пар тертя зроблено науковими школами, очолюваними І. В. Крагельським і Б. І. Костецьким. Особливу увагу звернуто на структуру та властивості поверхневих плівок контактуючої пари, коли в попередніх гіпотезах першочерговим вважалась об'ємна структура матеріалу підшипника. У молекулярно-механічній теорії І. В. Крагельського [2] важливими для вибору сумісних матеріалів слід вважати два важливих положення: по-перше, для зменшення спрацювання поверхневої плівки тіла, яка перебуває в терті, повинна мати меншу міцність, ніж нижче розташовані шари (правило додатного градієнта механічних властивостей). Ця умова реалізується внаслідок впливу на поверхню контакту частинок змазки, атомів повітря (ефект Ребіндера). По-друге, необхідно досягати мінімального проникнення контактуючого тіла в спряжену поверхню, що найкраще досягається в умовах пружного деформування. Згідно з цим правилом, твердість і жорсткість однієї поверхні повинна бути гранично великою, при цьому не бажано застосовувати контактуючі тіла з однаковою твердістю. У теорії Б. І. Костецького [3] вид і значення спрацювання зумовлюються субмікроскопічними поверхневими плівками, які утворюються на поверхні кожного з контактуючих матеріалів, що в процесі тертя безперервно руйнуються і знову відтворюються. Сумісність досягається шляхом структурного пристосування, яке в умовах окислювального спрацювання створюється тільки у випадку виникнення на поверхні контактуючих пар специфічних структур I (вал) і II (підшипник) типів. Відмітимо, що шляхи створення необхідних структур I і II типів точно не визначені, а співвідношення твердості контактуючих тіл не регламентується.

Наведемо результати вибору підшипників ковзання реверсивного руху, які в умовах, гранично наближених до реальних, відповідають умові сумісності. Методика дослідження стійкості проти спрацювання та визначення спрацювання описана у працях [6, 7]. Критерієм сумісності вважаємо мінімальне сумарне спрацювання досліджуваної пари. Розв'язання поставленої задачі досягалось: 1) зміною структури та властивостей обох елементів пари, коли в переважній більшості попередніх досліджень змінювався тільки один елемент (підшипник); 2) необхідні на поверхні структури створювались шляхом поверхневого зміцнення, використовуючи для цього в основному методи хіміко-термічної обробки. Методами хіміко-термічної обробки можна одержувати на поверхні різноманітні за складом і структурою поверхневі шари і, тим самим, різні субмікроскопічні плівки, що безпосередньо приймають участь у терті. Значна глибина проникнення відповідних дифундуючих елементів приводить до суттєвого підвищення контактної міцності,

що дає змогу в основному процес тертя здійснювати шляхом пружного відтиснення матеріалу.

Досліджено близько 40 різних пар тертя. Умови експерименту: частота коливання  $n=2,75$  ц/с, питомий тиск  $p=4$  МПа, кут реверсу  $65^\circ$ , змазка ЦИАТИМ-201 подавалась через  $5 \cdot 10^4$  циклів. Розміри досліджуваних підшипників: валик  $\varnothing 20$  мм,  $l=30$  мм; втулка  $\varnothing 60/20$  мм,  $l=20$  мм. Шорсткість контактуючих поверхонь валика і втулки відповідали  $Ra \leq 1,25$ . Серед усіх досліджених



Діаграма сумарного зносу реверсивних пар тертя:  
а — після 10<sup>5</sup> циклів; б — після 10<sup>6</sup> циклів.

тільки три пари у даних умовах експерименту при реалізації окислювального тертя характеризувались мінімальним сумарним спрацюванням. Діаграми сумарного спрацювання цих оптимальних пар показані на рисунку 1а, б (пари 1—3), а в табл. 2 — методи зміцнення пар та їх поверхнева мікротвердість. Для порівняння на цьому ж рисунку показано сумарне спрацювання часто застосовуваної у поліграфії пари бронза Бр. АЖ.9-4-сталь 45 (пара 5).

Як видно з рисунка, стійкість проти спрацювання перших трьох пар значно перевищує пари 5. Дослідження показали, що ресурс пари 5 не перевищує 10<sup>6</sup> циклів, тоді як для пар 1—3 і при досягненні  $8 \cdot 10^6$  циклів не спостерігається суттєвого спрацювання.

Одержані результати інтерпретуємо, користуючись критерієм теплостійкості  $[pV]$ , який вважається основним фактором надійності, довговічності та ресурсу підшипника [1]. Аналіз експериментальних даних дав змогу встановити.

1. У випадку  $[pV] \sim 0,1 \dots 0,5$  МПа. м/с доцільно застосовувати реверсивні пари тертя 1—3 (табл. 2) замість поширеної пари сталь-бронза. При цьому подача змазки ЦИАТИМ-201 з різною інтенсивністю (через проміжки від  $5 \cdot 10^4$  до  $2 \cdot 10^5$  циклів) майже не впливає на сумарне спрацювання.

Висока мікротвердість поверхневих шарів перших трьох пар (табл. 2) зумовлена наявністю різко відмінних за структурою твердих включень. Разом з тим за значенням мікротвердості елементи оптимальних пар між собою майже не відрізняються. Таким

Поверхнева мікротвердість  $H_{\mu}$  і тип утворених на поверхні включень пар тертя

| № пари | Матеріал і обробка втулки (підшипника)              | Тип включень  | $H_{\mu}$ ГПа | Матеріал і обробка валика                      | Тип включень           | $H_{\mu}$ ГПа |
|--------|---|---|---------------|--|------------------------|---------------|
| 1      | Сталь 45, дифузій-не хромування, термообробка       | (Cr, Fe) <sub>23</sub> C <sub>6</sub><br>(Cr, Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub> | 13,5          | Сталь 45, дифу-зійне борування, термообробка   | FeV, Fe <sub>2</sub> V | 14,0          |
| 2      | Сталь 45, дифузій-не карбохромування, термообробка  | (Cr, Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub><br>(Cr, Fe) <sub>23</sub> C <sub>6</sub> | 18,0          | „  | „                      | „             |
| 3      | Сталь 45, дифузійне хромосиліціювання, термообробка | (Cr, Fe)Si<br>(Cr, Fe)Si <sub>2</sub>   | 17,0          | Сталь 45, дифу-зійне титанування, термообробка | TiC                    | 21,0          |
| 4      | Сталь 45, дифузійне борування, термообробка         | FeV,<br>Fe <sub>2</sub> V   | 14,0          | Сталь 45, дифу-зійне борування, термообробка   | FeV, Fe <sub>2</sub> V | 14,0          |
| 5      | Бронза Бр. АЖ9-4                                    | —   | 1,5           | Сталь 45                                       | —                      | 2,0           |

чином, сумісність досягається застосуванням пар, елементи яких суттєво відрізняються структурою поверхневих шарів, але дуже наближені за мікротвердістю.

2. Коли ж мікротвердість і структура поверхневих шарів абсолютно однакові (пара 4, для зміцнення елементів якої застосовується один і той же метод) спостерігається значне спрацювання у зв'язку з виникненням молекулярного схоплювання.

3. У випадку  $[pV] \leq 0,1$  МПа·м/с більш вигідно застосовувати пару: втулка (металофторопласт) — валик (сталь 45), яка характеризується мінімальним спрацюванням і, крім цього, не вимагає змазки. Відмітимо, що знайдені значення параметра  $[pV]$  значно менші від рекомендованих в [5].

**Список літератури:** 1. Воронков Б. Д. Подшипники сухого тріння. — Л.: Машиностроение, 1979. 2. Крагельский И. В. Трнне и износ. — М.: Машиностроение, 1968. 3. Надежность и долговечность молнии. — К.: Техніка, 1975. 4. Орлов П. И. Основы конструирования. — М.: Машиностроение, 1977, Кн. 2. 5. Семенов А. П., Савинский Ю. Э. Металлофторопластовые подшипники. — М.: Машиностроение, 1976. 6. Стецьків О. П., Ющик В. И., Ключас О. С., Лизун О. Я. Интенсивность изнашивания подшипников скольжения при реверсивном движении цапф. — Физико-химическая механика материалов, 1980, № 5. 7. Стецьків О. П., Ключас О. С., Ющик В. И. О геометрии износа подшипников скольжения реверсивного движения и влияния зазоров на их износостойкость. — Трнне и износ, 1981, № 6. 8. Хрущов М. М., Курицина А. Д. Исследование изменения в строении рабочей поверхности высокоалюминистого баббита в процессе трнне и изнашивания. — Трнне и износ в машинах, 1959, вып. 5.

The questions of choosing joint pairs of friction in reference to plain bearings of printing presses have been considered here.

The results of carried out experimental studies are also analyzed.

Methods of chemicothermal treatment are used as means allowing to vary by structure of surface coats.

Стаття надійшла в редакцію 18. 02. 82