

ЕЛАСТОГІДРОДИНАМІЧНЕ (ЕГД) МАЩЕННЯ В ТОЧКОВОМУ КОНТАКТІ ТЕРТЯ В КРИОГЕННИХ УМОВАХ

Доктор технічних наук Дмитриченко М. Ф.,
кандидат технічних наук Міланенко О. А.,

Методом оптичної інтерферометрії були зроблені заміри товщини ЕГД плівки точкового контакту в умовах рясного мащення та мастильного голодування для низьких температур. Механізм мастильного голодування може бути повніше розкритий з погляду існування кавітаційних процесів та проковзування кулі.

Elastohydrodynamic film thickness measurements in fully flooded and starved conditions of point contact at low temperature are made using optical interferometry. This study concludes that the lubricant starvation can be better understood by considering cavitation conditions and side sliding.

Вступ. У криогенному машинобудуванні розглядається загальна конструкційна тенденція виносу вузлів тертя з області низьких температур, що має на меті підвищити надійність та зменшити витрати криовиробництва. Однак провести подібні конструктивні заходи у ряді випадків неможливо, тому з розвитком криогенного машинобудування й особливо електричних машин із надпровідними обмотками, охолоджуваними зрідженими газами, кількість низькотемпературних вузлів тертя постійно збільшується.

Довговічність вузлів тертя деяких низькотемпературних машин в окремих випадках можна підвищити за рахунок застосування спеціальних мастильних матеріалів (компресорних олиव для холодильного устаткування). Основні вимоги до таких мастильних матеріалів — низька температура застигання (істотно нижча, ніж робоча температура), висока температура кипіння, низька випаровуваність при максимально можливих температурах роботи вузла. У якості таких мастильних матеріалів широко застосовуються холодильні компресорні оливи — всесезонні оливи з високим індексом в'язкості, що містять спеціальні в'язкісні складові, які додають до оливи при високих температурах.

Загущуючи малов'язку оливу високотемпературними полімерами або сополімерами, одержують оливи, придатні до використання взимку та влітку, а також спеціальні оливи для експлуатації транспортних засобів при низькій температурі навколишнього середовища. Тому при виборі в'язкості оливи необхідно звертати увагу на те, що величина її в'язкості, її високо- і низькотемпературні властивості дають можливість пуску й зупинки (гальмування) трибосполучення з місця при низьких температурах без підігріву.

При виборі в'язкості оливи типовим режимом експлуатації є робота трибомеханічних систем в режимі максимальних швидкостей, коли в'язкість набуває максимальну величину. Однак для правильного вибору мастильних матеріалів і, отже, підвищення довговічності, слід в цих умовах провести детальні дослідження по підвищенню механізму мастильної дії.

Постановка завдання. З метою підвищення довговічності підшипників кочення в рамках оптимального вибору мастильного матеріалу в криогенних умовах для таких підшипників треба провести експериментальні дослідження в ЕГД режимі мащення.

Основний матеріал. Вивчення механізму мастильної дії в умовах низьких температур переважно вести з позиції ЕГД режиму мащення. Пов'язано це з тим, що рідинне тертя в таких умовах забезпечується для неконформного вузла тертя (вузла з локальним точковим контактом), для якого в дослідженому діапазоні робочих умов характерно створення ЕГД — товщин мастильних шарів [1].

З метою проведення таких досліджень була спроектована и розроблена установка, яка дозволила методом оптичної інтерферометрії [2] вимірювати ультратонку (до 0,02 мкм) товщину мастильного шару з урахуванням картини підведення і розподілу оливи в точковому контакті тертя та фактичної площі контакту, що імітують умови мащення упорного шарикопідшипника. Установка дозволяє реалізовувати умови низьких температур за допомогою спеціально спроектованого устаткування (рис.1). Застосування

фото-, відео- та телевізійної записувальної техніки дало змогу ресструвати і аналізувати з високим ступенем точності швидкоплинні процеси зміни основних ЕГД-характеристик при відтворенні різноманітних явищ у широкому діапазоні зміни температур, швидкостей та навантажень.

На рис. 2 представлена зміна товщини мастильного шару залежно від швидкості кочення з невеликою часткою ковзання для всесезонної мінеральної оливи SAE20W-50 і синтетичної оливи SAE5W-40 в обраному діапазоні низьких температур.

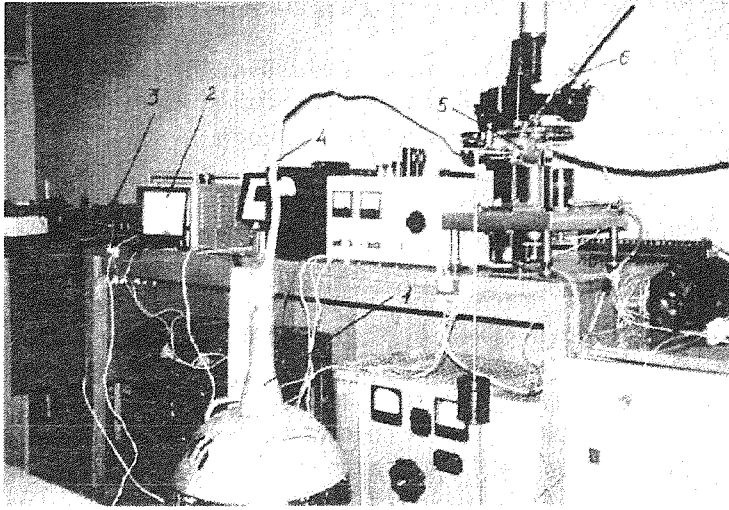


Рис. 1. Загальний вигляд вузла тертя з допоміжним устаткуванням:
1 — посуд Дюара з рідинним азотом; 2 — латтер; 3 — реостат; 4 — патрубков;
5 — стакан; 6 — термометр.

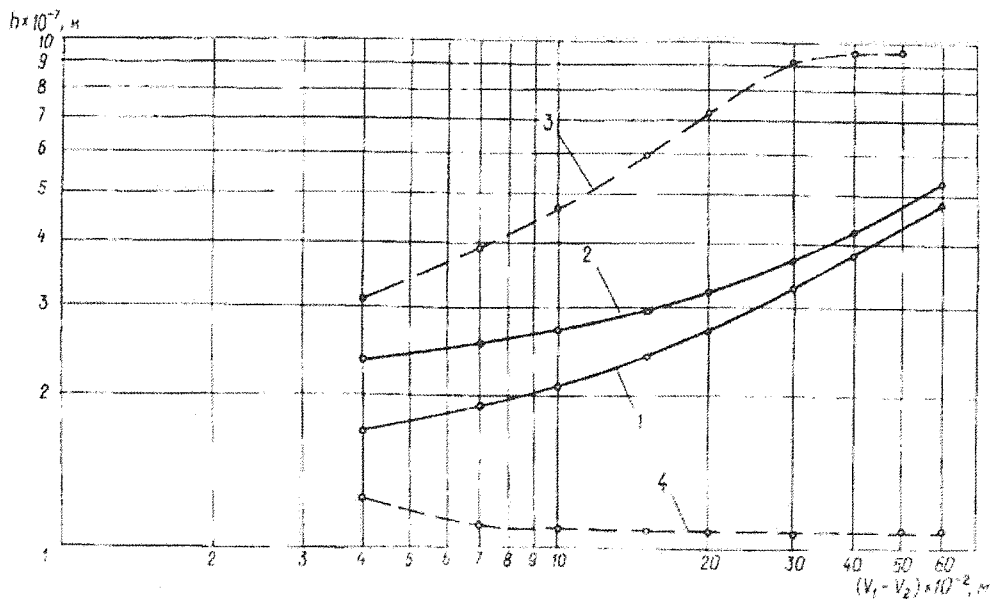


Рис. 2. Зміна товщини мастильного шару h_0 залежно від швидкості кочення з ковзанням

$(V_1 + V_2)$ в обраному діапазоні температур t :

Олива SAE 5W-40: 1 — $t = \text{мінус } 10^\circ \text{C}$; 2 — $t = \text{мінус } 20^\circ \text{C}$
Олива SAE 20W-50: 3 — $t = \text{мінус } 10^\circ \text{C}$; 4 — $t = \text{мінус } 20^\circ \text{C}$

Синтетична олива SAE5W-40 (крива 1, 2 на рис. 2) в умовах низьких температур до мінус 20 °С поєднує гарні пускові й антифрикційні властивості. За рахунок відносно малої в'язкості ($\eta_0=0.183$ ПаЧс при 20°C) ця олива має низькотемпературну в'язкість, достатню для створення необхідної товщини мастильного шару, щоб уникнути проковзування між поверхнями тертя внаслідок значного збільшення товщини мастильного шару. У цьому випадку низькотемпературна в'язкість оливи, яка грає важливу роль при втраті енергії на тертя, що виникає при подачі оливи до змащувальних точок трибосполучень відразу після пуску, значною мірою залежатиме від швидкості зсуву [3] при низьких температурах, близьких до температури застигання оливи. Причому зі зниженням температури, тобто з виникненням структурної в'язкості [4] втрати енергії на тертя зростають, у той час як зовнішнє тертя, обумовлене корисною роботою, залишається постійним.

За твердженням автора [5], більшість олив містить значні добавки полімерів, і такі оливи варто розглядати як неньютонівські, тому що їх в'язкість більше зменшується при високих швидкостях зсуву, ніж при низьких, що призводить до різкого зменшення несучої здатності.

При високих швидкостях зсуву, коли пружні ефекти мають істотне значення, в'язкість цих олив наближається до в'язкості базової оливи. При цьому в'язкопружний ефект призводить до росту часу релаксації й зниженню ефективної в'язкості. Тому можна припустити, що в наших експериментах (крива 3 на рис. 2) для мінеральної оливи SAE20W-50 завдяки низькій температурі в зоні контакту відбувається відносно зменшення товщини (навіть стабілізація) внаслідок зниження ефективної в'язкості.

При подальшому зниженні температури (крива 4 на рис.2) олива застигає, утворюючи твердий шар мастила на поверхні тертя. При цьому спостерігається проковзування кулі, внаслідок чого товщина мастильного шару залишається значно меншою. У цьому випадку пара тертя фактично перестає контактувати. Куля починає «буксувати» на поверхні диска навіть із прикладенням більшого навантаження, що в результаті може призводити до значного зношування поверхонь тертя. Це пояснюється тим, що в процесі експлуатації в'язкість загущених олив істотно зменшується через механічну й термічну деструкцію полімерів (складових).

Таким чином, при виборі олив варто надавати перевагу оливі з мінімально необхідною й достатньою в'язкістю. Застосування оливи із зайвою в'язкістю призводить до перевитрат палива через збільшення втрат на тертя й збільшення пускових зношувань.

В момент гальмування підшипника кочення спостерігались кавітаційні процеси, які розташувались у вихідній області контакту. Область кавітації проривається через меніск оливи на вихідній стороні, з'єднуючись із атмосферою, однак це мало позначається на загальній картині кавітації.

Загальна картина кавітації представляє тонкі ребра оливи, розділені повітряними проміжками, що видно з мікроінтерферограми на рис.3. У більшості підшипників кочення вплив області кавітації на умову підведення оливи у вхідній області дуже великий, але його часто ігнорують.

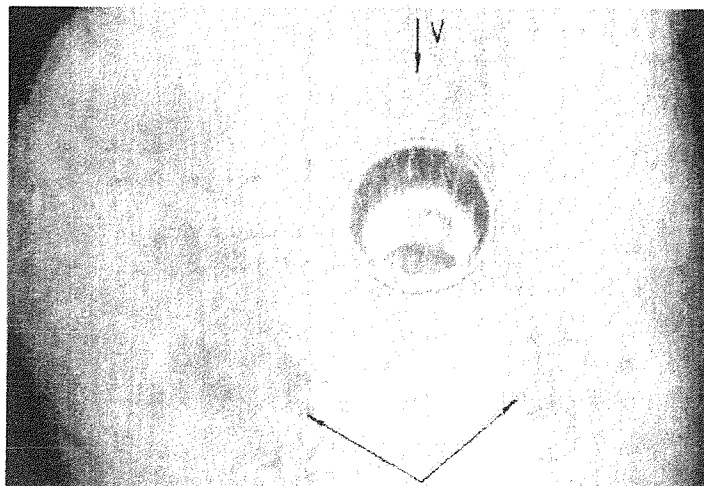


Рис. 3. Картина кавітації точкового ЕГД-контакту (стрілками вказані кавітаційні ребра оливи)

В умовах мастильного голодування (недостатнього змащування) кавітаційна картина (рис.4) суттєво змінюється. Во вхідній області утворюється скупчення повітряних та мастильних струменів, які серйозно стримують розвиток тиску і, отже, значно знижують товщину мастильного шару, тим самим спонукаючи розвиток мастильного голодування.

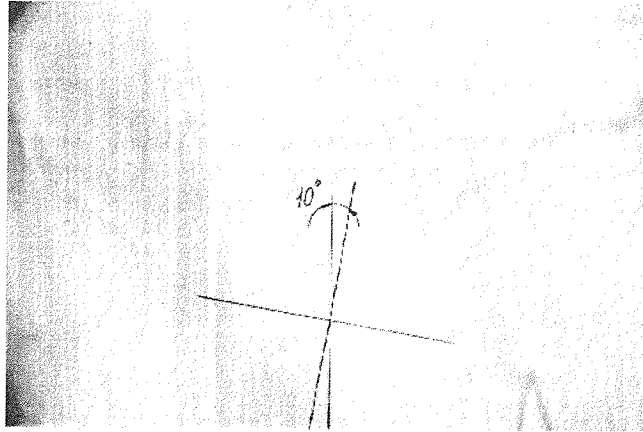


Рис. 4. Картина кавітації в умовах мастильного голодування (зображення наявності скривленої ділянки контакту і повороту форми плівки й картини сліду на $\sim 10^\circ$).

Отже, якщо конструкція підшипника й спосіб подачі оливи не задовольняють локальні вимоги її кількості всередині області контакту, то підшипник може працювати в умовах мастильного голодування, навіть якщо він добре змащований.

Як видно з рис. 4, в умовах мастильного голодування утворюється значно викривлена ділянка контакту, форма ЕГД-плівки якої вже не нагадує класичний профіль Герца. Тому можна припустити, що розподіл тиску в цих умовах не прагне до розподілу контактного тиску, а форма деформованих поверхонь вже не пояснюється контактною теорією Герца.

Слід зазначити, що автор в роботі [6] спостерігав той же ефект при коченні кулі по жолобу при високих питомих навантаженнях, коли тертя поверхонь наближалось до граничного, коли виникають умови безпосереднього контактування пружних тіл із близько співпадаючими профілями поверхонь.

В тих же умовах роботи підшипника (див. рис. 4) спостерігався поворот форми плівки й картини сліду з вираженою асиметрією ділянки контакту відносно напрямку орбітального руху кулі приблизно на $\approx 10^\circ$, що можна пояснити гіроскопічним моментом, який є складовим швидкості ковзання в поперечному напрямку. Це свідчить про те, що в умовах мастильного голодування спостерігається дисбаланс сил тертя в поперечному напрямку, які є складовою ковзання, що призводить до появи бічного проковзування кулі.

Висновки:

1. При виборі оливи варто надавати перевагу оливі з мінімально необхідною й достатньою в'язкістю. Застосування оливи із зайвою в'язкістю призводить до перевитрат палива через збільшення втрат на тертя й збільшення пускових зношувань, а також до виникнення проковзування кулі.
2. Для низьких температур механізм мастильного голодування може бути повніше розкритий з погляду існування кавітаційних процесів, які виникають при зупинці чи малих швидкостях підшипника (до 0,02 м/с).
3. В умовах низьких температур у режимі мастильного голодування виявлено «бічне проковзування» кульки, яке полягає у повороті на 10° картини сліду контакту, які призводять до асиметрії розподілу товщини мастильного шару та контактної площадки.
4. Із розвитком мастильного голодування форма ЕГД-плівки прагне до класичного профіля Герца, а розподіл тиску в ЕГД-плівці — до розподілу контактного тиску, що розраховується згідно теорії Герца.

Литература

1. Хебда М., Чичинадзе А.В. Смазочные материалы. Техника смазки, опоры скольжения и качения. — Справочник в 3 томах. — Том 2, 1990.- С. 283-289.
2. Дмитриченко Н.Ф., Милащенко А.А., Мнацаканов Р.Г., Золотарева Е.П. Упрощенный расчет напряжений и деформаций для точечного локального контакта. — Вестник НАУ, 2001. — №1(8). — С.35.
3. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты / Под ред. Д. М. Кламанна. — Химия, 1988.- С. 23-27.
4. Кореляков Л., Школьников В.М. Современные высокоиндексные масла из нефтяного сырья. — М.: ЦНИИ-ТЭНефтехим, 1972. — С. 5-15.
5. Апелдорн И. О современном состоянии теории смазки и ее связи с реологией. — Труды Американского общества инженеров-механиков: Проблемы трения и смазки. — №3, 1968. — С. 1-7.
6. Трение качения в машинах и приборах / Под ред. С.В. Пинегина. — М.: Машиностроение, 1976. — С. 203-216.

УДК 621.891

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗНОШУВАННЯ ПАР ТЕРТЯ В УМОВАХ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Доктор технічних наук Дмитриченко М.Ф.,
доктор технічних наук Мнацаканов Р.Г.,
кандидат технічних наук Мікосянчик О.О.,
Туриця Ю.О.*

В статті досліджено зміну мікротвердості поверхневого шару випереджаючого і відстаючого зразків в умовах динамічного навантаження, що дозволило встановити вплив зміни цього параметра на величину зносу.

Research of change the microhardness of superficial layer of the advance and lagging samples is conducted in the article in the conditions of the dynamic loading, which allowed to set influence of change of this parameter on the size of wear.

Постановка проблеми. Первинною проблемою при вивченні тертя є контактування дотичних поверхонь. Процес тертя, в значній мірі обумовлює зносостійкість контактуючих деталей. Знос деталей машин призводить до втрат точності, зниженню ККД, зниженню міцності, збільшенню динамічних навантажень, які є наслідком збільшення зазорів в спряженнях, підвищенню рівня шуму. Знос є причиною виходу з ладу великої кількості машин (до 80%) і їх деталей. Створення вузлів з мінімальними втратами на тертя сприяє вивільненню великої кількості ресурсів робочої сили і зниженню різних матеріальних витрат.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженню питань з даного напрямку присвячені роботи К.С.Рамайї [1], який зазначав, що від 60 до 70% зношування пар тертя двигуна відбувається за пусковий період. Аналогічні дані приводяться в роботах Д.П.Великанова [2], Я.Павловського [3], А.І.Нісевича [4] і Д.І.Ви-соцького [5]. В період пускового режиму стан масляної плівки на поверхнях тертя може змінюватись таким чином, що буде можливим перехід від гідродинамічного до граничного мащення. Внаслідок цього зношування контактних поверхонь, що працюють в умовах порушення суцільного мастильного шару, відбувається головним чином, за рахунок мікроконтактного схоплювання.

Мета роботи. Метою проведених досліджень було встановлення закономірностей зношування пар тертя при змащуванні оливою Honda Ultra DPSF і визначення залежності зношування пар тертя в умовах частих пусків-зупинок від ступеня зміцнення — розміщення поверхневих шарів металу.

Основна частина. Дослідження проводилися на установці СМЦ-2, в режимі пуск (4,5 с) — зупинка (3 с). Цикли слідували один за іншим, без перерви, всього циклів в експерименті N=1750. В дослідях при відносному ковзанні 15% в якості зразків використовувались циліндричні ролики (d = 50 мм), виготовлені зі сталі ШХ-15, при контактних навантаженнях σ_{max} 450 МПа, 570 МПа та 680 МПа. В якості