

ТРИБОХІМІЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МЕТАЛІВ У ОБВОДНЕНИХ МАСТИЛАХ

Досліджено зносостійкість пари тертя, що складається із матеріалів, які використовуються в опорах ковзання парових турбін: сталь 45-бабіт Б-83 у зв'язку із протікаючими трибохімічними явищами залежно від обводнення мастила. Встановлено різну чутливість зносостійкості матеріалів до наявної води і складу розчинених в середовищі газів.

There has been researched the durability of the friction couple, that consists of the materials, used in the props of steam turbines sliding: steel 45-babbitt B-83 with the running tribo-chemical events, depending upon the lube oil watering. Determined the different sensitivity of the materials durability to the water and the solved gases mixture.

Вступ. Практично завжди в умовах експлуатації у мастильних вуглеводневих середовищах знаходиться вода. Вона може попадати туди як у результаті конденсації вологи з повітря, так і при безпосередньому контакті з вуглеводневою рідиною. Розчинність води в мастилах невелика і залежить від їхнього хімічного складу та зовнішніх умов [1]. Крім розчиненої води, у мастильних рідинах може бути присутня вода у вигляді емульсії і у вільному стані. Вільна вода обумовлює повне насичення нафтопродуктів розчинною водою і є джерелом утворення емульсії. Досить стійкі емульсії утворюються, коли щільності нафтопродукту і води близькі, наприклад, у системі мастило– вода. У вигляді тонкої емульсії вода в мастилах майже не помітна за зовнішнім виглядом. Вода, домішана до нафтопродукту з високою щільністю в кількості 30 %, не випадає в осад при кімнатній температурі протягом декількох місяців [2]. Збільшенню стійкості емульсії сприяють смолисті, високомолекулярні речовини, а також сірчані, азотисті і кисневі з'єднання, що накопичуються в мастилах у процесі застосування. Ці речовини, концентруючись на поверхні розділу мастило-вода, підвищують стійкість поверхневих плівок. При відсутності таких речовин розшарування емульсії відбувається значно швидше.

Попадання води в мастило досить розповсюджене, але небажане явище при експлуатації парових турбін, компресорів, папероробних машин, прокатних станів, двигунів внутрішнього згоряння і т. ін. У ряді випадків істотне обводнювання мастила перетворилося у постійно діючий фактор, що значно ускладнює роботу мастильних систем турбомашин [3, 4, 5]. Наявність води в мастилі негативно впливає на роботоздатність вузлів тертя [6], разом з тим практично відсутні дані з комплексного впливу обводнення мастил на показники функціонування трибосистем, гранично допустимого вмісту води в мастилі, при якому ще можлива безаварійна робота опор ковзання, а також дані по методах зниження впливу обводненості мастила на його експлуатаційні характеристики. У загальному випадку механізм спільного впливу кисню, води, вуглеводневого середовища на опір руйнуванню твердого тіла в ході динамічного контактування до кінця не вивчений. Присутність у зоні тертя металів з різними фізико-хімічними властивостями, що виступають у ролі каталізаторів і учасників трибохімічних взаємодій, ускладнює рішення цієї проблеми.

Методи досліджень. Змащувальна здатність мастил різного ступеня обводненості оцінювалася на установці тертя ковзання КИИГА-2 [7] при навантаженнях і швидкостях, що забезпечують граничне тертя. Вузол тертя виконаний у вигляді двох кілець (Ø 30x40мм), що контактують торцевими поверхнями, які мають радіальні проточки для забезпечення вільного доступу середовища в зону взаємодії. Зразки виготовлені з матеріалів, що реально використовуються в опорах ковзання: рухливий зразок (вал) виконано з нормалізованої сталі 45, нерухливий (підшипник ковзання) – з бабіту Б-83 або олов'янистої бронзи БрОЦС 4-4-2,5. Площа контакту зразків становила $S=4\text{см}^2$, питоме навантаження $p=25\text{ кг/см}^2$, швидкість ковзання $V=0,72\text{ м/с}$. Вузол тертя розташований в герметичній камері, що заповнювалася мастилом, яке піддавалося випробуванню. Перед заповненням обводнене мастило для утворення емульсії проходило ультразвукову обробку генератором УЗДН-1. Досліджувалися мастила, що застосовуються в опорах турбін: синтетичне марки ОМТИ і мінеральне ТП22. Величину зношування визначали ваговим способом. Дослідження зміни компонентного і кількісного складу оточуючого зону тертя газового середовища внаслідок протікання трибохімічних процесів проводили хроматографічним методом.

Результати дослідження та їх обміркування. Проведені випробування показали, що кінетика протікання трибохімічних реакцій має подібну закономірність для двох мастил: синтетичного і мінерального з різним ступенем обводненості і відрізняється тільки кількісними значеннями. У процесі тертя відбувається поглинання кисню, виділення водню, оксиду і діоксиду вуглецю, метану. Із представлених результатів досліджень мастила ОМТИ 5-відсоткової обводненості на парі тертя сталь 45 по бабіту Б-83 (рис. 1) видно, що перші дві години спостерігається інтенсивне протікання трибохімічних реакцій, потім їхня швидкість знижується і залишається постійною. Така залежність у початковий період випробування пари тертя пояснюється процесом припрацювання контактуючих поверхонь. Надалі відбувається стабілізація процесу тертя і хімічних взаємодій, що протікають. При цьому між кінетикою утворення та витрачання газових компонентів і зміною величини зносу існує взаємозв'язок, що вказує на однотипність трибохімічних реакцій, що протікають.

Варіювання вмісту в мастилі води призводить до значної зміни (рис. 2) основних трибохімічних

параметрів процесу тертя – поглинання кисню і виділення водню, а також зносостійкості контактуючих матеріалів – сталі 45 і бабіту Б-83. Зі збільшенням водовмісту мастильного середовища спостерігається інтенсифікація окиснювальних процесів, пов'язана з витратою кисню, і зростанням кількості водню, що виділився.

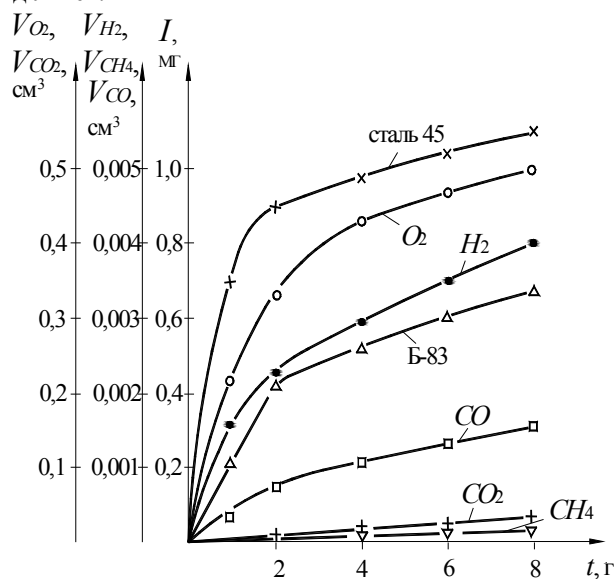


Рис. 1. Кінетика трибохімічних реакцій і зносу пари тертя сталь 45-бабіт Б-83 у середовищі мастила ОМТИ+5 % H₂O

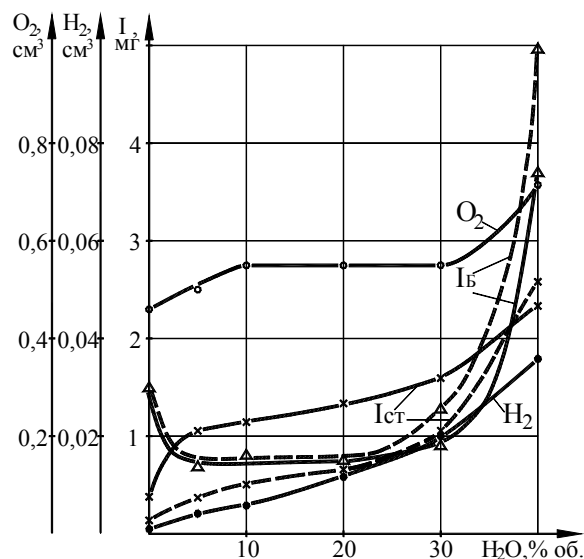


Рис. 2. Вплив вмісту води в мастилі ОМТИ на протікання трибохімічних реакцій поглинання кисню, виділення водню і знос пари тертя сталь 45-бабіт Б-83 у рівноважній (суцільна лінія) і деаерованій (пунктирна лінія) водомасляній суміші

Зношування пари тертя в товарному мастилі відбувається в основному за рахунок стирання бабіту, а знос сталі 45 незначний. З додаванням води відбувається різке збільшення зносу сталі 45 і зниження зносу бабіту. Бабіт Б-83 виконаний на основі олова легованого сурмою 9-11 % і міддю 5-6 %. Сурма достатньо хімічно активна по відношенню до води, а олово й мідь досить інертні [8]. Отже, у цілому бабіт характеризується достатньою хімічною стійкістю проти реагування з водою. Основа сталі – залізо – має набагато більшу схильність до хімічної взаємодії з водою. При додаванні в мастило води сталь вступає з нею в трибохімічну взаємодію з утворенням на поверхні шару окисних (гідроксидних) продуктів слабо зчеплених з основою. Видалення в ході динамічного контактування поверхонь із зони тертя продуктів взаємодії призводить до підвищення зносу сталі 45. Лінійна залежність співвідношення об'єму водню, що виділився в процесі тертя на одиницю зносу зразка зі сталі 45 (V_{H_2} / I_{cm45}) від ступеня обводненості мастила (рис. 3) підтверджує трибохімічну природу явища. Значення відношення об'єму витраченого в процесі тертя кисню до сумарного зносу (V_{O_2} / I^{Σ}) відповідає змішаному стехіометричному складу

оксидів основних матеріалів пари тертя – заліза (Fe^{2+} , Fe^{3+}) і олова (Sn^{2+} , Sn^{4+}). Сталість величини співвідношення (V_{O_2} / I^{Σ}) до 20-відсоткового вмісту води в мастилі, указує на реалізацію в даних умовах трибохімічного механізму дисипації підведеної у ході тертя механічної енергії. Обводнення мастила призводить (рис. 3) до підвищення моменту тертя, температури середовища, що сприяє інтенсифікації трибохімічних взаємодій і пропорційному зростанню зносу сталі 45. Порушення рівноваги в системі підведена енергія – трибохімічні реакції – знос спостерігається при значних змінах змащувальних і фізико-хімічних властивостей середовища, викликаних істотним (до 40 %) обводненням мастила (рис. 2).

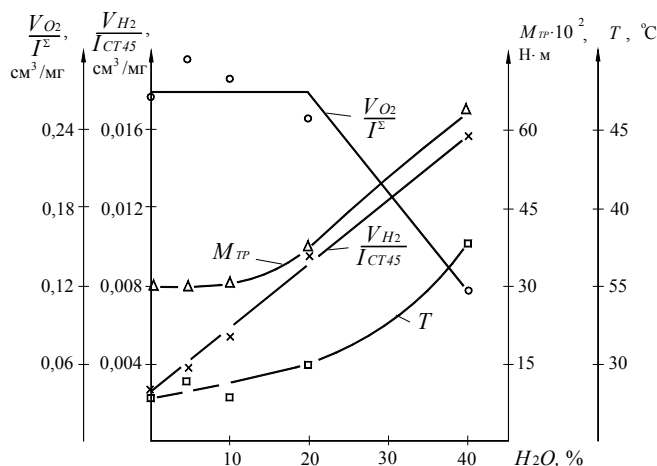


Рис. 3. Вплив вмісту води в мастилі ОМТИ на величину співвідношень трибохімічних реакцій (V_{O_2} / I^{Σ} , V_{H_2} / I_{cm45}), момент тертя (M_{TP}) і температуру розігріву (T) водномасляної суміші

Таким чином, зростання зносу сталі 45, з якої виготовляється найбільш відповідальна деталь пари тертя вузла опори турбіни – вал, у водно-мастильній емульсії обумовлене наявністю у середовищі води. Раніше встановлений [9, 10] сприятливий вплив зменшення вмісту розчиненого у воді і вуглеводневих рідинах кисню

на зносостійкість сталі дає підставу припускати аналогічний результат і для їхньої суміші. Дійсно, насичення емульсії нейтральним газом – азотом до вмісту розчиненого O_2 0,5 % об. дозволяє знизити інтенсивність трибоокиснювальних процесів, оптимізувати кількість вторинних структур, що утворюються, і як, результат, зменшити знос сталі 45 (рис. 2, пунктирні лінії). Залежно від ступеня обводненості деаерованого мастила ОМТИ зносостійкість сталі підвищується від 2,1 рази при 20-відсотковому вмісті H_2O , 2,9 рази – при 5-відсотковому і до 3,4 рази для товарного мастила. При цьому знекиснення середовища не впливає на знос бабіту Б-83. Підвищення в мастилі вмісту води до 40 % об. призводить до зниження змащувальних властивостей утвореної мастильно-водної емульсії настільки, що вона при даних навантажувально-швидкісних умовах роботи вузла тертя вже не забезпечує екранування контактуючих поверхонь. В результаті чого набуває розвитку пошкоджуючий механізм релаксації підведеної механічної енергії – реакції в твердій фазі (схоплювання) і ефект деаерації мастильно-водної емульсії набуває зворотнього результату – при зниженні у системі розчиненого кисню знос пари тертя зростає.

Дослідження мінерального мастила ТП-22 виявили його більшу чутливість до обводнювання. Уже при концентрації води в мастилі 6 % об. зношування бабіту за 6 годин випробувань складає 0,0181г, а сталі 45 – 0,0017г. Іде механічне зношування більш м'якого матеріалу. Деаерація (до 0,5 % об. O_2) товарного мастила сприяє зниженню зносу сталі в 1,9 рази, 3-відсоткової обводненості – в 1,5 рази, а при 10-відсотковому вмісті води викликає інтенсивне схоплювання й повне руйнування бабітового зразка. Величина зносу за дві години випробувань досягає трьох грамів.

Дослідження пари тертя сталь 45 – бронза БрОЦС 4-4-2,5 у середовищі мінерального мастила ТП-22

показали (рис. 4), що видалення з мастила розчиненого кисню шляхом його насичення азотом (до 0,5 % об.) викликає деяке збільшення зносу олов'янистої бронзи в початковий період часу. Проте в подальшому інтенсивність зношування бронзи БрОЦС 4-4-2,5 різко падає і величина зносу стає менше, ніж при терті в товарному мастилі. При цьому знекиснювання мастильного середовища сприяє зниженню зносу сталі протягом всього періоду роботи трибоспрямлення. При 10-відсотковому обводненні мастила ТП-22 знос бронзи, яка характеризується достатньою хімічною інертністю до води [8], значно зменшується (в 4 рази), а сталі 45 – зростає в 3 рази. Деаерація мастила із 10-відсотковим вмістом води сприяє підвищенню зносостійкості сталі 45 в 2,5 рази в порівнянні з вихідною рівноважною емульсією, а первісне збільшення зносу бронзи згодом нівелюється.

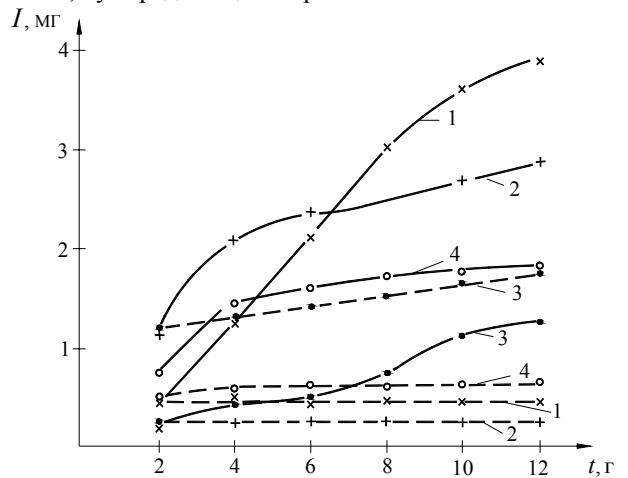


Рис. 4. Вплив води і кисню, присутніх у мастилі ТП-22, на знос бронзи БрОЦС-4-4-2,5 (суцільна лінія) і сталі 45 (пунктирна лінія): 1 – ТП-22 товарне; 2 – ТП-22 товарне + N_2 ; 3 – ТП-22 + 10 % H_2O ; 4 – ТП-22 + 10 % $H_2O + N_2$

Висновки. Випробуваннями встановлено більшу чутливість змащувальної властивості до обводнення для мінерального мастила ТП-22 в порівнянні з синтетичним мастилом ОМТИ. Мастило ОМТИ забезпечує опір пари тертя сталь 45-бабіт Б-83 розвитку пошкоджуючих процесів схоплювання до 30 %-вої обводненості, а мастило ТП-22 втрачає протизношувальні властивості вже при 6 %-ому вмісті води.

Виявлено значний негативний вплив збільшення вмісту в мастилі води на зносостійкість сталі, матеріалу з якого виготовляють найбільш відповідальний елемент опор ковзання турбомашин – вал. Це пов'язано із проявом трибохімічної активності сталі до води та, як наслідок, утворенням на поверхні товстого шару твердих продуктів взаємодії, що має слабе зчеплення з основою і достатньо легко видаляється із зони динамічного контакту. Обводнення мастила викликає зростання зносу сталі в 3...4 рази. Наявність в мастилі води мало впливає на знос трибохімічно інертних до неї матеріалів – бабіту та бронзи і може навіть сприяти зростанню їх опору руйнуванню. Ефективним способом підвищення зносостійкості вузла тертя є регулювання окиснювальної властивості обводненого середовища. Зниження у мастильно-водній емульсії вмісту розчиненого кисню сприяє уповільненню трибохімічних взаємодій і підвищенню стійкості матеріалу поверхонь тертя до пошкодження.

Література

1. Химмотология в гражданской авиации: Справочник / В.А. Пискунов, В.Н. Зрелов, В.Т. Василенко, А.А. Литвинов, К.С. Чернова – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
2. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1982. – 350 с.
3. Казанский В.Н. Системы смазки паровых турбин. – М.: Энергия, 1974. – 224 с.
4. Ухин Б.Н., Широ́ва К.А. Химическая промывка маслосистемы турбины ПТ-130/13 раствором тринатрийфосфата и пассивация нитритом натрия // Эксплуатация оборудования энергосистем: Экспресс-информация. – 1975. – 3с.
5. Швецов П.Д. Предупреждение аварий паровых турбин. – М.; Киев: Машгиз, 1953. – 236 с.

6. Кожекин А.В. Влияние воды на противоизносные и противозадирные свойства трансмиссионных масел // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1978. – № 4. – С. 18-20.
7. Аксенов А.Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.
8. Рачев Х., Стефанова С. Справочник по коррозии / Пер с болг. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
9. Олександренко В.П. Трибохимические реакции и износостойкость стали в водных растворах. Часть 1. Кинетика трибохимических процессов // Проблемы трибологии. – 2005. – № 2. – С. 165-171.
10. Олександренко В.П. Влияние температуры на физико-химические процессы контактного взаимодействия и износостойкость трибосопряжений // Вестник двигателестроения. – 2005. – № 3. – С. 97-101.

Надійшла 18.12.2008 р.