

УДК 621.891
UDC 621.891

ДИНАМІКА ФОРМУВАННЯ ТОВЩИНИ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ В УМОВАХ ЛОКАЛЬНОГО КОНТАКТУ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Білякович О.М., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

Глухонець А.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна

THE DYNAMICS OF FORMATION LUBRICANT FILM THICKNESS IN CONDITIONS OF LOCAL CONTACT

Dmytrychenko M.F., PhD (Doctor of Science) National Transport University, Kyiv, Ukraine

Biliakovych O.M., Candidate of Science, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Hlukhonets A.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО КОНТАКТА

Дмитриченко Н.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Білякович О.Н., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина

Глухонец А.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням формування товщини мастильного шару займалось багато вчених: Гаркунов Д.Н., Чичинадзе А.В., Дмитриченко М.Ф., Мнацаканов Р.Г., Мікосянчик О.О., Міланенко О.А.

Викладення невирішених питань. Створення високонадійних механізмів та машин можливо тільки за рахунок високого ступеня відповідності низки показників стану триботехнічного вузла вимогам, які забезпечують його нормальну експлуатацію. Тривалий час до таких показників відносили геометричні характеристики, параметри шорсткості контактних поверхонь, матеріал елементів трибоспряження. Однак для забезпечення надійної роботи вузла тертя також необхідний ретельний підбір мастильного матеріалу відповідно до умов експлуатації.

Постановка завдання. Проблема підвищення зносостійкості трибомеханічних систем (підшипників кочення, зубчастих передач і т. п.) набуває все більшу актуальність, в зв'язку з безперервним підвищенням навантажувальних, швидкісних і температурних умов в контакті тертя. Працездатність і довговічність підшипників кочення і ковзання, зубчастих і фрикційних передач, зубчастих муфт і ущільнень залежить від режиму мащення в контакті. Умови тертя в зубчастих передачах істотно відрізняються від умов тертя в інших механізмах. Достатньо відмітити, що зубчасті передачі повинні експлуатуватися в діапазоні зміни колових швидкостей від 0 до 140 м/с, при контактних напругах до 5ГПа і температурі змащувального матеріалу до 300°C, причому контактні температури досягають 350 – 400 °С [1,2]. Вищезазначені чинники суттєво впливають на товщину мастильного шару, яка є основною характеристикою режиму мащення, який обумовлює змащувальну здатність сучасних мастильних матеріалів і як наслідок впливає на зносостійкість поверхонь тертя. Мастильні матеріали повинні забезпечувати надійну роботу устаткування в умовах тривалої роботи та в широкому інтервалі температур при режимах граничного і гідродинамічного мащення або їх поєднаннях. В межах застосування гідродинамічної теорії мащення єдиною властивістю оливи, яка визначає її змащувальну дію, є в'язкість. В'язкість мастильної рідини є ефективним окремим показником, за яким визначають сферу застосування оливи – в'язкість визначає

втрати на тертя, тепловиділення, несучу здатність, товщину плівки, витрату мастильного матеріалу [3]. При високому тиску ($> 10^8$ Па) може відбутися різке збільшення в'язкості оливи і вона набуває неньютонівських властивостей [4], що не враховується в теоретичних розрахунках еластогідродинамічної (ЕГД) теорії мащення.

Найбільш важливою практичною стороною еластогідродинамічної задачі для точкового контакту являється визначення центральної товщини змащувального шару всередині зони контакту, так як підтримання необхідної товщини плівки має вагоме значення для роботоздатності деталей трибомеханічних систем.

Дану статтю присвячено оптико-інтерферометричному вимірюванню товщини мастильного шару та визначенню основних фізико-хімічних характеристик досліджуваного спектру мастильних матеріалів.

Викладення основного матеріалу. Метою роботи являлось вимірювання ультратонкої товщини мастильного шару (до 0,02 мкм), що здійснювалося на спеціально виготовленому стенді, який дав змогу методом оптичної інтерферометрії дослідити розподіл товщини мастильного шару в точковому (коловому) контакті тертя та розподіл мастильного матеріалу навколо контакту з урахуванням картини підведення мастильного матеріалу та температурного режиму мащення.

Метод полягає в огляді ділянки контакту через одне з контактуючих тіл (скляний диск) і спостереженні інтерференційної картини, яка породжується конструктивною та деструктивною інтерференцією світла, відбитого від поверхні непрозорого тіла (стальної кульки) [5].

Застосування фото-, відеозаписуючої техніки дало змогу з високим ступенем точності реєструвати й аналізувати швидкоплинні процеси зміни основних ЕГД-характеристик при відтворенні умов розвинення мастильного голодування, кавітаційних процесів й інших явищ.

Методика оптико-інтерферометричних вимірювань товщини мастильного шару містила:

- 1) тарування за допомогою рівняння Герца при визначенні оптичної товщини мастильного шару;
- 2) вимірювання показника заломлення середовища при атмосферному тиску через рефрактометр;
- 3) визначення дійсної товщини мастильного шару.

Метою даного експериментального дослідження являється вплив параметру швидкості кочення (умова кочення з проковзуванням 20%) на кінетику формування товщини мастильного шару в центральній зоні контакту. При дослідженні використовувалися 5 марок мастильних матеріалів: 1) моторна олива SAE 15w40 LUX; 2) моторна олива M8Г2К; 3) моторна олива M10Г2К; 4) олива I - 40; 5) олива універсальна моторно – трансмісійна ЄМТ-8. Діапазон зміни швидкостей складав від 0 до 1,2 м/с; температура олів впродовж експерименту становила 20°C; контактна напруга складала 251,5 МПа. Товщина мастильного шару в контакті визначалась методом оптичної інтерференції.

Для характеристики процесу мащення існує безрозмірний параметр λ – режим мащення, який визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}},$$

де h – товщина мастильного шару, мкм

R_{a1} – середньоарифметичне відхилення профілю скляного диска, мкм

R_{a2} – середньоарифметичне відхилення профілю стальної кульки (ролика), мкм.

Класифікація режимів мащення згідно значення λ наступна:

$\lambda = 0 - 1$ – напівсухий;

$\lambda = 1 - 1,5$ – граничний;

$\lambda = 1,5 - 3$ – змішаний з переважанням граничного;

$\lambda = 3 - 4$ – еластогідродинамічний;

$\lambda \geq 4$ – гідродинамічний.

Результати досліджень

При використанні в якості мастильного матеріалу оливи SAE 15w40 LUX встановлено, що формування товщини мастильного шару відбувається при швидкості $V_{\Sigma k} = 0,068$ м/с, дійсна товщина мастильного шару склала $h_d = 0,123 \times 10^{-6}$ м (рис.3.1), при цьому реалізується граничний режим

мащення $\lambda = 1,231$ (рис.1). Із ростом швидкості товщина мастильного шару зростає і при швидкості $V_{\Sigma k} = 0,365$ м/с вона складає $h_d = 0,409 \times 10^{-6}$ м, при цьому реалізується гідродинамічний режим мащення $\lambda = 4,087$ (рис.2), який домінує до $V_{\Sigma k} = 0,675$ м/с.

Використовуючи в якості мастильного матеріалу моторну оливу М8Г2К встановлено, що при сумарній швидкості кочення $V_{\Sigma k} = 0,045$ м/с відбувається формування товщини масляної плівки, яка складає $h_d = 0,124 \times 10^{-6}$ м (рис.1), при цьому реалізується граничний режим мащення $\lambda = 1,24$ (рис.2). Досягнувши $V_{\Sigma k} = 0,351$ м/с товщина мастильного шару складає $h_d = 0,411 \times 10^{-6}$ м (рис.1), при цьому встановлюється гідродинамічний режим мащення $\lambda = 4,113$ (рис.2), характерний до $V_{\Sigma k} > 0,654$ м/с.

Використовуючи в якості мастильного матеріалу моторну оливу М10Г2К встановлено, що при сумарній швидкості кочення $V_{\Sigma k} = 0,076$ м/с відбувається формування товщини масляної плівки, яка складає $h_d = 0,0796 \times 10^{-6}$ м (рис.1), при цьому реалізується граничний режим мащення $\lambda = 1,223$ (рис.2). Досягнувши $V_{\Sigma k} = 0,5$ м/с товщина мастильного шару складає $h_d = 0,406 \times 10^{-6}$ м (рис.1), при цьому встановлюється гідродинамічний режим мащення $\lambda = 4,061$ (рис.2).

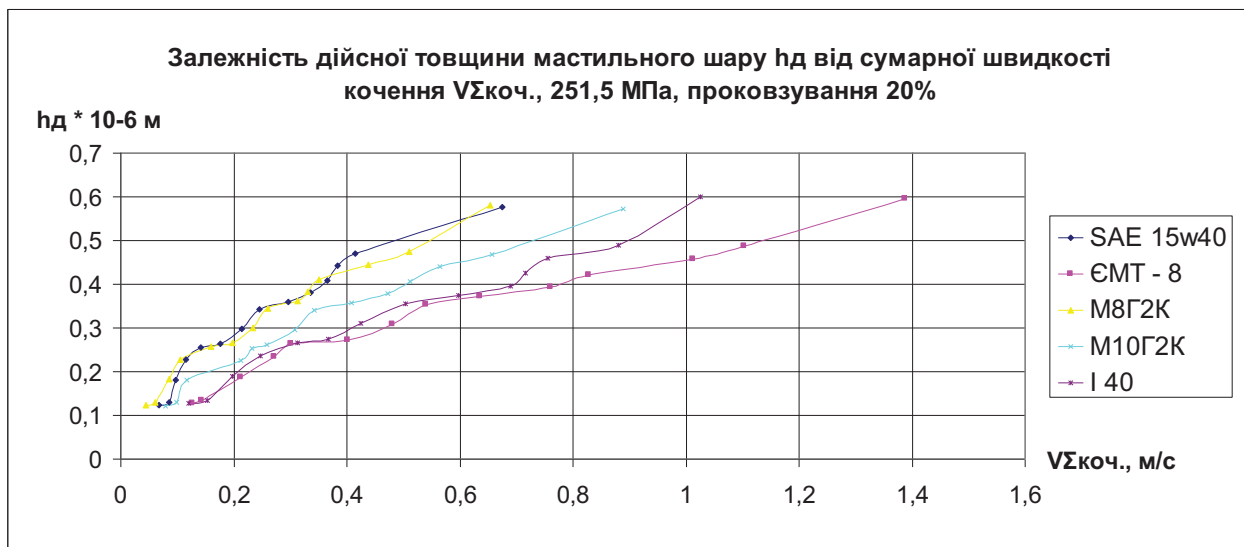


Рисунок – 1 Залежність дійсної товщини мастильного шару h_d від сумарної швидкості кочення $V_{\Sigma k}$

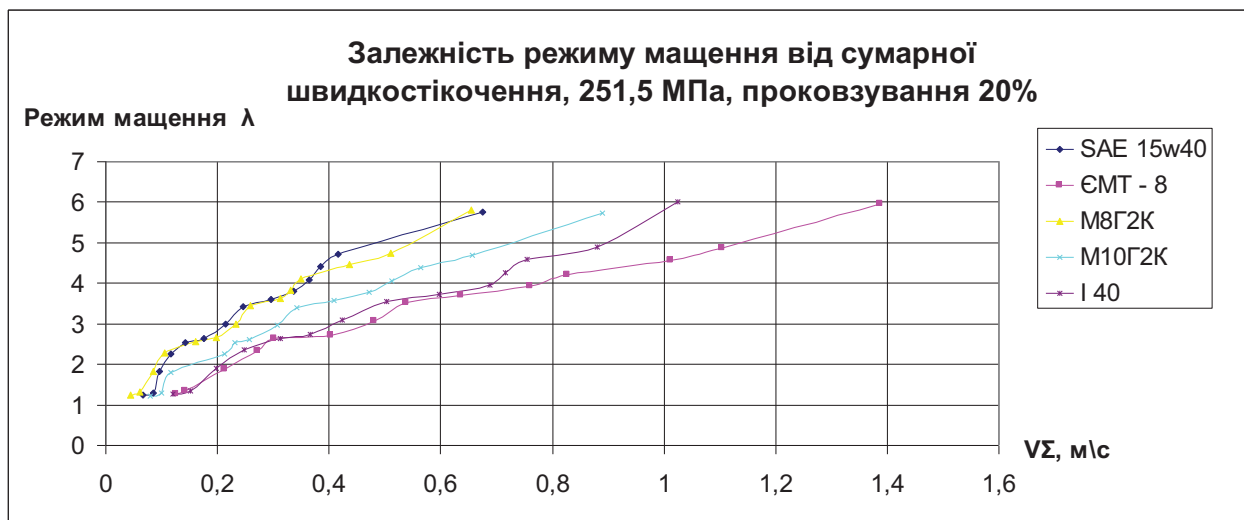


Рисунок 2 – Залежність режиму мащення λ від сумарної швидкості кочення $V_{\Sigma k}$

Використовуючи в якості мастильного матеріалу оливу ЄМТ-8 встановлено, що при $V_{\Sigma k} = 0,126$ м/с відбувається формування товщини масляної плівки, яка складає $h_d = 0,127 \times 10^{-6}$ м (рис.1), при цьому реалізується граничний режим мащення $\lambda = 1,272$ (рис.2). Досягнувши швидкості $V_{\Sigma k} = 0,827$

м/с товщина мастильного шару складає $h_d=0,422 \times 10^{-6}$ м (рис.3.1), при цьому встановлюється гідродинамічний режим мащення $\lambda=4,222$ (рис.3.2), який домінує до $V_{\Sigma k} = 1,388$ м/с.

Застосовуючи в якості мастильного матеріалу оливу І-40 встановлено, що товщина масляної плівки формується при сумарній швидкості кочення $V_{\Sigma k}=0,119$ м/с і становить $h_d=0,128 \times 10^{-6}$ м (рис.1), при цьому реалізується граничний режим мащення $\lambda=1,28$ (рис.2). Досягнувши швидкості кочення $V_{\Sigma k}=0,717$ м/с товщина мастильного шару складає $h_d=0,425 \times 10^{-6}$ м (рис.1), при цьому встановлюється гідродинамічний режим мащення $\lambda=4,25$ (рис.2), який характерний до $V_{\Sigma k} = 1,026$ м/с .

Висновок та перспективи подальших розвідок. Одержані експериментальні залежності формування мастильного шару дослідженими оливами в умовах поступового збільшення сумарної швидкості кочення узгоджуються з еластогідродинамічною теорією мащення: приріст товщини мастильного шару оливи можливий при підвищенні сумарної швидкості кочення тільки до 10 – 15 м/с [6]. Збільшення в'язкості оливи, згідно еластогідродинамічної теорії мащення, сприяє утворенню мастильної плівки більшої товщини [7,8], що підтверджується одержаними нами експериментальними даними.

Аналіз експериментальних даних щодо мастильної дії олив різного складу показує, що кінетика формування товщини мастильного шару в період пуску залежить від швидкості кочення – при зростанні швидкості кочення відбувається підвищення товщини мастильного шару в центральній зоні контакту, що обумовлює перехід від граничного до гідродинамічного режиму мащення. При цьому процесі значну роль відіграє кінематична в'язкість мастильного матеріалу, яка, в основному, залежить від базової основи олив, тому що кількість присадок становить до 10 – 15% (наприклад, в моторних оливах).

Таким чином, при виборі мастильного матеріалу для вузла тертя необхідно ґрунтуватися не тільки на підборі оливи з певною кінематичною в'язкістю, але й визначатися із хімічним складом мастильного матеріалу та матеріалом контактних поверхонь.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 156 с.
2. Forsythe G.E. Generation and use of orthogonal polynomials to data-fitting with a digital computer// Y.Soc. Ind. Appl. Math. – 1957. – S.74. – P. 206-212.
3. ЩигOLEV Б.М. Математическая обработка наблюдений. – М.: Наука, 1969. – 344 с.
4. Справочник по триботехнике: В 3т./ Под общ. ред. Хебты М., Чичинадзе А.В. – М.: Машиностроение, 1990. – Т.2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения. – 412 с.
5. Міланенко О.А. Мастильна дія олив у точковому контакті тертя в умовах ясного мащення та мастильного голодування: Дис. на здобуття наукового ступеня к.т.н.: 05.02.04 / Міланенко О.А. – К.: НАУ, 2000. – 214 с.
6. Дроздов Ю.Н., АрчегOV В.Г., Смирнов В.И. Противозадирная стойкость трущихся тел. – М.: Наука, 1981. – 275с.
7. Райко М. В. Исследование смазочного действия нефтяных масел в условиях работы зубчатых передач: Дис. на соискание ученой степени д.т.н.: 05.02.04. – К.: КИИГА, 1974. – 369 с.
8. Мікосянчик О.О. Оцінка триботехнічних параметрів мастильних матеріалів при граничному мащенні в умовах локального контакту: дис. канд. техн. наук: 05.02.04 / Національний транспортний ун-т. – К., 2006

REFERENCES

1. Nalimov V.V., Chernova N.A. Statistical methods for planning of extreme experiments. - M.: Science, 1965 - 156 p. (Rus)
2. Forsythe G.E. Generation and use of orthogonal polynomials to data-fitting with a digital computer// Y.Soc. Ind. Appl. Math. – 1957. – S.74. – P. 206-212.
3. Shchigolev B.M. Mathematical treatment of observations. - M.: Science, 1969 - 344 p. (Rus)

4. Reference tribotechnology: In 3t. / Under total. Ed. Heby M. Chichinadze A.V. - M.: Mechanical Engineering, 1990 - Volume 2: Lubricants, machinery lubrication of plain and rolling bearings. - 412. (Rus)
5. Milanenko A.A The lubricating effect of oils in point contact friction conditions abundant lubrication and lubricant starvation: Dis. for the degree of Ph.D. : 05.02.04 / Milanenko Alexandr. - K.: NAU, 2000 - 214p. (Ukr)
6. Drozdov Y.N., Arhegov V.G., Smirnov V.I. Extreme pressure resistance of the rubbing bodies. - M.: Science, 1981. - 275c. (Rus)
7. Rajko M.V. Investigation lubricating effect of petroleum oil in the working conditions of gears: Dis. for the degree of Doctor of Engineering : 05.02.04. - K.: КПГА, 1974 - 369 p. (Rus)
8. Mikosyanchik O.A. Evaluation of tribological parameters of lubricants with extreme lubrication conditions of local contact: dis. Candidate. tehn. Sciences: 05.02.04 / National Transport Univ. - K., 2006. (Ukr)

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Динаміка формування товщини мастильного шару в умовах локального контакту / М.Ф. Дмитриченко, О.М. Білякович, А.О. Глухонець, // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 1 (37).

В статті представлені результати дослідження впливу параметру швидкості кочення (умова кочення з проковзуванням 20%) на кінетику формування товщини мастильного шару в центральній зоні контакту.

Метод полягає в огляді ділянки контакту через одне з контактуючих тіл (скляний диск) і спостереженні інтерференційної картини, яка породжується конструктивною та деструктивною інтерференцією світла, відбитого від поверхні непрозорого тіла (сталюї кульки).

Об'єкт дослідження – вплив параметру швидкості кочення (умова кочення з проковзуванням 20%) на кінетику формування товщини мастильного шару.

Метою роботи являлось вимірювання ультратонкої товщини мастильного шару (до 0,02 мкм)

Метод дослідження – експериментальне визначення товщини мастильного шару в умовах локального контакту.

Застосування фото-, відеозаписуючої техніки дало змогу з високим ступенем точності реєструвати й аналізувати швидкоплинні процеси зміни основних еластогідродинамічних характеристик при відтворенні умов розвинення мастильного голодування, кавітаційних процесів й інших явищ.

Для дослідження використовувалися 5 марок мастильних матеріалів: 1) моторна олива SAE 15w40 LUX; 2) моторна олива М8Г2К; 3) моторна олива М10Г2К; 4) олива І - 40; 5) олива універсальна моторно – трансмісійна ЄМТ-8. Діапазон зміни швидкостей складав від 0 до 1,2 м/с; температура олів впродовж експерименту становила 20°C; контактна напруга складала 251,5 МПа. Товщина мастильного шару в контакті визначалась методом оптичної інтерференції.

Аналіз експериментальних даних щодо мастильної дії олів різного складу показує, що кінетика формування товщини мастильного шару в період пуску залежить від швидкості кочення – при зростанні швидкості кочення відбувається підвищення товщини мастильного шару в центральній зоні контакту, що обумовлює перехід від граничного до гідродинамічного режиму мащення. При цьому процесі значну роль відіграє кінематична в'язкість мастильного матеріалу, яка, в основному, залежить від базової основи олів, тому що кількість присадок становить до 10 – 15% (наприклад, в моторних оливах).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ШВИДКІСТЬ КОЧЕННЯ, ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛА, ТОВЩИНА МАСТИЛЬНОГО ШАРУ, ЕЛАСТОГІДРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F., Biliakovych O.M., Hlukhonets A.O. The dynamics of formation lubricant film thickness in conditions of local contact. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2017. – Issue 1 (37).

In the article presented results of investigations of the parameter rolling speed (velocity) (rolling condition with slipping 20%) on the kinetics of formation lubricant film thickness in the central zone of contact.

The method consists in the review section of contact through one of the contacting bodies (glass disk) and observing of the interference pattern that is generated by constructive and destructive interference of light reflected from the surface of an opaque body (steel ball).

The object of research – impact of parameter speed rolling (rolling condition with slipping 20%) on the kinetics of formation lubricant film thickness.

The aim of research is measure the ultrathin thickness of lubricant layer (up to 0.02 microns).

Method of research – experimental determination of the lubricant film thickness in conditions of local contact.

The use of photos, video, and television recording technology enabled with high precision record and analyze rapidly changing processes of change the main elastohydrodynamic characteristics during playback conditions of the development lubricant starvation, cavitation processes and other phenomena.

For research used 5 brands of lubricants: 1) Engine Oil SAE 15w40 LUX; 2) engine oil M8H2K; 3) engine oil M10H2K; 4) Oil I - 40; 5) Universal engine-transmission oil EMT-8. Range of speeds ranged from 0 to 1.2 m/sec; oils temperature during the experiment was 20°C; contact voltage was 251,5 MPa. The lubricant film thickness in contact was determined by method of optical interference.

The analysis of experimental data concerning lubricating actions of oils with different composition shows that the kinetics of formation lubricant film thickness during the start-up depends on the speed of rolling - with increasing speed rolling is an increase of lubricant film thickness in the central zone of contact, which makes the transition from limiting to hydrodynamic regime of lubrication. In this process significant role played by kinematic viscosity of the lubricant, that mainly depends on the basic fundamental of oils, because the amount of additives amounts to 10 - 15% (for example, in engine oil).

KEY WORDS: ROLLING SPEED, INTERFERENCE OF LIGHT, LUBRICANT FILM THICKNESS, ELASTOHYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф. Динамика формирования толщины смазочного слоя в условиях локального контакта / Н.Ф.Дмитриченко, О.Н.Билякович, А.А.Глухонец // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2017. – Вып. 1 (37).

В статье представлены результаты исследования влияния параметра скорости качения (условие качения с проскальзыванием 20%) на кинетику формирования толщины смазочного слоя в центральной зоне контакта.

Метод заключается в осмотре участка контакта через одно из контактирующих тел (стеклянный диск) и наблюдении интерференционной картины, которая порождается конструктивной и деструктивной интерференцией света, отраженного от поверхности непрозрачного тела (стальной шарики).

Объект исследования - влияние параметра скорости качения (условие качения с проскальзыванием 20%) на кинетику формирования толщины смазочного слоя.

Целью работы являлось измерение ультратонкой толщины смазочного слоя (до 0,02 мкм)

Метод исследования - экспериментальное определение толщины смазочного слоя в условиях локального контакта.

Применение фото-, видеозаписывающей техники позволило с высокой степенью точности регистрировать и анализировать мимолетные процессы изменения основных эластогидродинамических характеристик при воспроизведении условий развития смазочного голодания, кавитационных процессов и других явлений.

Для исследования использовались 5 марок смазочных материалов: 1) моторное масло SAE 15w40 LUX; 2) моторное масло M8Г2К; 3) моторное масло M10Г2К; 4) масло И - 40; 5) масло универсальная моторно - трансмиссионное EMT-8. Диапазон изменения скоростей составлял от 0 до 1,2 м / с; температура масел протяжении эксперимента составляла 20 ° С; контактные напряжения

составляла 251,5 МПа. Толщина смазочного слоя в контакте определялась методом оптической интерференции.

Анализ экспериментальных данных касательно смазочного действия масел различного состава показывает, что кинетика формирования толщины смазочного слоя в период пуска зависит от скорости качения - при росте скорости качения происходит утолщение смазочного слоя в центральной зоне контакта, обуславливает переход от предельного до гидродинамического режима смазки. При этом процессе значительную роль играет кинематическая вязкость смазочного материала, которая, в основном, зависит от базовой основы масел, так как количество присадок составляет до 10 - 15% (например, в моторных маслах).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СКОРОСТЬ КАЧЕНИЯ, ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА, ТОЛЩИНА СМАЗОЧНОГО СЛОЯ, ЭЛАСТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 318.

Білякович Олег Миколайович, кандидат технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, професор кафедри «Технологій аеропортів», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Україна, 03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409.

Глухонець Андрій Олексійович, асистент кафедри «Екології і безпеки життєдіяльності», e-mail: hanti@i.ua, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.312.

AUTHOR:

Mykola Fedorovych Dmytrychenko, PhD (Doctor of Science), professor, National Transport University, Professor of the Department "Manufacture, repair and Materials", e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel.: +38(044)2808203, 1, Suvorova str., office 318, Kyiv, Ukraine, 01010.

Oleg Mykolaiyvych Biliakovych, Candidate of Science, professor, National Transport University, Professor of the Department "Technology of airports", e-mail: oleg65@voliacable.com, tel.: +38(044)4067694, 1, Kosmonavta avenue, office 409, Kyiv, Ukraine, 03680.

Andriy Oleksiiyvych Hlukhonets, Assistant of the Department "Ecology and Life Safety ", National Transport University, e-mail: hanti@i.ua, tel.: +38(044)2801886, 1, Suvorova str., office 312, Kyiv, Ukraine, 01010.

АВТОРЫ:

Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044) 2808203, Украина, 01010, г.. Киев, ул. Суворова, 1, к. 318.

Білякович Олег Николаевич, кандидат технических наук, профессор, Национальный авиационный университет, профессор кафедры «Технологий аэропортов», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044) 4067694, Украина, 03680, г.. Киев, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409.

Глухонец Андрей Алексеевич, ассистент кафедры «Экологии и безопасности жизнедеятельности », e-mail: hanti@i.ua, тел. (044) 2801886, Украина, 01010, г.. Киев, ул. Суворова, 1, к.312.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Тамаргазін О.А., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, завідувач кафедри технологій аеропортів, Київ, Україна.

Гутаревич Ю. Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

REVIEWER:

Tamarhazin A.A. Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, professor, department airports technologies, Kyiv, Ukraine.

Hutarevych Y.F., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of department engines and thermotechnics, Kyiv, Ukraine.