

УДК 621.891

В. Б. МЕЛЬНИК¹, О. В. РАДЬКО¹, А.К. СКУРАТОВСЬКИЙ², І. А. КАШИРСЬКА¹,
Т.С. ТКАЧЕНКО¹

¹Національний авіаційний університет, Україна

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ВПЛИВ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВТОМНЕ ЗНОШУВАННЯ І ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Викладені результати дослідження впливу мастильних матеріалів на втомне зношування пар тертя з локальним контактом в умовах кочення з ковзанням. Показано зв'язок між товщиною мастильного шару та часом до появи викришування на поверхнях тертя зубчастих коліс. Установлено, що використання синтетичних олив ВНИИ НП 50-1-4У й ИПН-10 у якості мастильного середовища в трибосполученнях дозволяє збільшити п'ятинісхідність поверхонь тертя зубчастих передач у 3,5 ... 4 рази порівняно із використанням мінеральних олив.

Ключові слова: змащувальна дія, мастильні матеріали, втомне зношування, самогенеруюча органічна плівка, контактне руйнування

Вступ. Найбільш розповсюдженим видом зношування пар тертя з локальним контактом є втомне зношування (викришування, п'ятінг). Згідно з даними, наведеними в [1], при ремонті авіатехніки до 70% з загальної кількості зубчастих коліс бракувалися через наявність на поверхнях тертя втомного викришування.

На думку більшості дослідників початкові тріщини контактного руйнування розвиваються з поверхні деталі, а не під нею (що підкреслює роль мастила в розвитку втомного викришування). Ще досліді, які започаткували сучасні дослідження втомного викришування, показали, що воно виникає тільки на змашених поверхнях тертя. Досліді на роликах без мастильних матеріалів приводили тільки до їх стирання, але аж ніяк не до викришування.

Визначення критеріїв оцінки властивостей олив, які пояснюють вплив сорта оливи на контактну міцність, робились неодноразово. Як властивість оливи, яка визначає її вплив на втомне викришування, одні автори пропонували враховувати маслянистість [2], інші – здатність масла проникати у втомні тріщини, які оцінюються капілярними властивостями олив [3].

Не дивлячись на те, що вплив наведених властивостей олив на зношування та розвиток втомних тріщин підтверджений експериментально, ці дослідження не можуть дати пояснення розмаїттю впливу олив на контактну витривалість, а саме за підвищених температур, коли вплив маслянистості зникає, а вплив капілярних можливостей олив зводиться до мінімуму.

У сучасній літературі, присвяченій дослідженню процесів контактної міцності, вивчалися рельєф, структура, хімічний склад, механічні властивості металів, вторинні структури, які виникають в процесі тертя [4; 5].

Визначені певні погляди на процеси, які відбуваються в період роботи пар тертя з локальним контактом і які призводять до формування специфічного поверхневого шару металу. Однак стан і роль мастильного шару при випробуваннях на контактну міцність вивчені недостатньо. Вплив мастильного шару на процеси втомлювального викришування досліджувались в роботах М.В. Райко та його учнів [5; 6]. В цих роботах використовувався метод вимірювання товщи-

ни мастильного шару. В наших дослідженнях цей метод також був використаний в якості основного для оцінки показників якості змащувальної дії мастильних матеріалів в локальному контакті зубчатих передач.

Постановка завдання. Метою дослідження є оцінка впливу мастильних матеріалів на втомне зношування пар тертя з локальним контактом в умовах роботи зубчатих передач.

Методика досліджень. Випробовувалися п'ять марок олив: синтетичні ВНИИ НП 50-1-4у й ИПМ-10 та мінеральні МС-8п, МС-20, М10Г2к. Випробування кожної оливи проводили на новій парі зразків.

Як критерій довговічності було вибрано час роботи пари тертя до появи на відстаючому (верхньому) ролику перших ознак викришування. Контрольним часом роботи пари тертя було вибрано 20 годин (або $4,8 \cdot 10^5$ циклів), адже саме після відпрацювання такої кількості циклів в оливі ВНИИ НП 50-1-4у на верхньому зразку з'явилася одинична виразка викришування. Пара тертя, яка відпрацювала $4,8 \cdot 10^5$ циклів у випробовуваних середовищах без ознак пошкоджуваності, вважалася такою, що витримала випробування і експеримент припинявся.

Випробування проводилися на машині тертя СМЦ-1. Зразки: нижній – діаметр 50мм, ширина – 10мм; верхній – діаметр – 50мм, ширина – 4мм. Матеріал зразків – сталь 40Х. Твердість – HRC 30 ... 32. Розрахункові допустимі напруження – 770 МПа. Шорсткість – 0,3мкм. Контактні напруження – 850 МПа. Оботи: нижній – 420 об / хв; верхній – 350 об / хв. Проковзування – 20%.

Результати дослідження та їх обговорення. На рис. 1, 2 показано зміну основних триботехнічних показників (товщини мастильного шару та коефіцієнта тертя,) в локальному контакті пари тертя для п'яти олив.

З п'яти випробованих олив тільки олива ВНИИ НП 50-1-4у витримала випробування на втомне зношування – $4,8 \cdot 10^5$ циклів (20 годин). Але навіть на цій оливі через 20 годин випробувань на поверхні тертя була виявлена одинична виразка викришування. Решта досліджених олив мали меншу п'їттингостійкість. Однак, слід зазначити, що зразки, які працювали на оливах МС-8п і ИПН-10 показали втомну довговічність, близьку до довговічності зразків на оливі ВНИИ НП 50-1-4у ($4,06 \cdot 10^5$ і $3,55 \cdot 10^5$ до настання викришування відповідно). Кількість циклів до викришування на оливах МС-20 і М-10Г2к є майже в три рази меншою, ніж оливі ВНИИ НП 50-1-4у ($1,32 \cdot 10^5$ і $1,66 \cdot 10^5$ відповідно). Аналіз результатів показує, що синтетичні масла ВНИИ НП 50-1-4у і ИПН-10 по п'їттингостійкості в 3,5 ... 4 рази перевищують мінеральні.

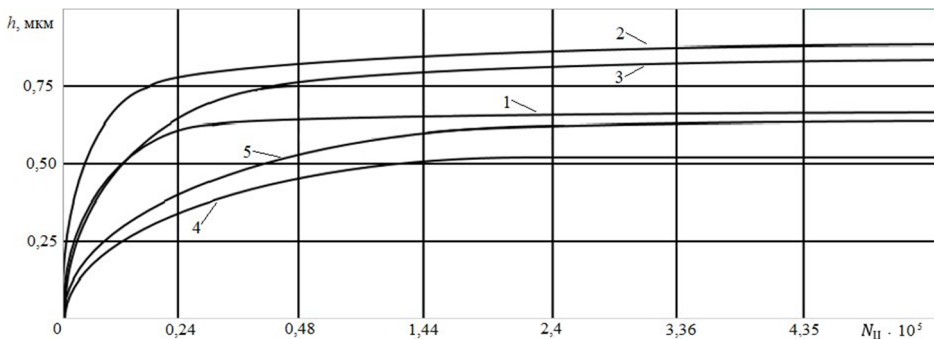


Рис 1. Зміна товщини мастильного шару при випробуваннях на викришування:

1 – ВНИИ НП 50-1-4У; 2 – МС-8п; 3 – ИПМ-10; 4 – МС-20; 5 – М-10 Г2к.

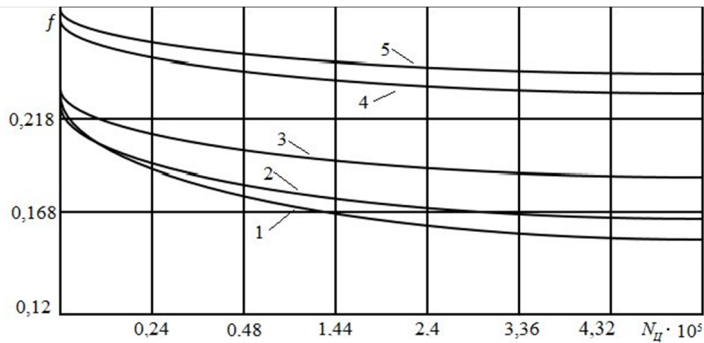


Рис 2. Зміна коефіцієнта тертя при випробуваннях на викришування:
1 – ВНИИ НП 50-1-4У; 2 – МС-8п; 3 – ИПМ-10; 4 – МС-20; 5 – М-10 Г2к.

Винятком була олива МС-8п, яка показала пiтiнiгостойкiсть, близьку до синтетичних. Таку стiйкiсть проти викришування можна пояснити тим, що олива МС-8п є єдиною з випробовуваних, яка добре сформувала темно-коричневу самогенеруючу органічну плiвкy (СОП), що має високі протизносні властивості. За даними [6], у присутності на поверхні тертя СОП ознак викришування не спостерігається при числі циклів у 15 ... 18 разів більшому, ніж при терті в оливі за відсутності СОП. Слід зазначити, що в умовах наших дослідів олива, яка формує СОП, підвищила стiйкiсть проти викрашування в 3,5 ... 4 рази порiвняно з оливами, що не утворюють або погано утворюють СОП.

Оливи, на яких зразки пропрацювали найбільшу кількість циклів до викришування, показали найбільші значення товщини мастильного шару на сталому режимі. Причому найбільше значення товщини h показала олива МС-8п - 0,95 мкм, єдина з випробовуваних олив, на якій візуально добре видно темно-коричневу плiвкy СОП. Оливи ВНИИ НП 50-1-4у й ИПМ-10 показали меншу товщину - 0,65 і 0,75 мкм відповідно.

Найгірші за стiйкiстю проти викришування оливи МС-20 і М-10Г2к показали найменшу товщину мастильного шару – 0,50 і 0,55 мкм. Оливи, що підвищують стiйкiсть проти викришування, формують у контакті досить товсті мастильні шари (ВНИИ НП 50-1-4у, МС-8п, ИПМ-10) та показали добрі антифрикційні властивості – коефіцієнт тертя f у них на 25...35% нижчий, ніж у олив МС-20 і М-10Г2к (рис. 2).

Об'ємна температура олив T у ході випробування змінилася несуттєво від вихідної до 45 °С (у ВНИИ НП 50-1-4у) до 55 °С (у МС-20).

Результати дослідження впливу мастильних матеріалів на змащувальну дію та втомне зношування поверхонь тертя зубчастих передач наведені в таблиці.

Таблиця

**Вплив мастильних матеріалів на змащувальну дію
та втомлювальне зношування поверхонь тертя зубчастих передач**

№ п/п	Мастильні матеріали	h , мкм	f	T , °С	$N_u \cdot 10^5$	Якість поверхонь тертя зубчастих коліс
1	ВНИИ НП 50-1-4у	0,65	0,130	45	4,8	Одинична виразка викришування
2	МС-8п	0,95	0,144	48	4,08	СОП. Викришування
3	ИПМ-10	0,75	0,157	50	3,5	Викришування
4	МС-20	0,50	0,202	55	1,32	Викришування
5	М-10Г2К	0,55	0,211	42	1,68	Викришування

Висновки. Порівняння результатів дослідження показує, що існує зв'язок між товщиною мастильного шару та часом до появи викришування на поверхнях тертя зубчастих коліс (більшій товщині відповідає більша кількість циклів до викришування на всіх оливах, за винятком ВНИИ НП 50-1-4у).

У зв'язку з тим, що утворення хемосорбційних плівок, які проявляють підвищену стійкість проти викришування, не пов'язано з гідродинамічним ефектом, обґрунтовано вивчення негідродинамічної змащувальної дії та її впливу на втомне зношування контактних поверхонь.

Проведені дослідження дозволяють пояснити суперечливість (неоднозначність) результатів багатьох досліджень, які вивчали вплив в'язкості оливи на втомне викришування. У багатьох випадках ця неоднозначність є наслідком того, що дослідниками не приймалася до уваги наявність чи відсутність СОП у контакті.

Використання протизносних та противопітінгових властивостей СОП є найбільш перспективним і найбільш економічним шляхом для подальшого підвищення зносостійкості та довговічності зубчастих передач, підшипників кочення та інших деталей, що не вимагає ускладнення технології виробництва та підвищення якості конструкційних матеріалів.

Список літератури

1. Кораблёв А.И., Решетов Д.И., Повышение несущей способности и долговечности зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1968, – 288с.
2. Матвеевский М.Р. Температурная стойкость граничных смазочных слоёв и твёрдых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов.-М.: Наука, 1971.- 164с.
3. Слупский В.И., Стадник В.А., О влиянии физических свойств на механизм усталостного выращивания зубьев редукторов. – Проблемы трения и изнашивания, 1974, – №6. – с.148-152.
4. Мельник В.Б. Фізико-хімічна модель механізму змащувальної дії присадок у лльному контакті зубчатих передач. Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences December 27-28, 2017 – Radom, Republic of Poland: 2017. - С. 126-130.
5. Мельник В.Б. Смазочное действие масел с карбонофторидными присадками при нестационарных режимах трения /В.Б.Мельник, Р.Г.Мнацаканов, В.П.Федына // Проблемы тертя та зношування: Науково-техн. зб. – К: НАУ, 2007. – Вип.47. – С. 250-267.
6. Райко М.В. Смазка зубчатых передач/ Райко М.В. – К. : Техника, 1970. – 196 с.

Стаття надійшла до редакції 18.12.2018

Мельник Володимир Борисович – канд. техн. наук, доцент кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680, тел.: +38 044 406 74 14, E-mail: melnikvb408@gmail.com.

Радько Олег Віталійович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680, тел.: +38 044 406 74 14, E-mail: radlviv@ukr.net.

Скуратовський Анатолій Кирилович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій НТУУ "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", тел. 067-496-34-95, askuratsovsky@ukr.net.

Каширська Ірина Анатоліївна – студентка, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680, тел.: +38 044 406 74 14, E-mail: kashirska1996@ukr.net.

Ткаченко Таміла Сергіївна – студентка, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680, тел.: +38 044 406 74 14. E-mail: tkachenko.tamila@sportlife.kiev.ua.

*V. B. MELNYK, O. V. RADKO, A. K. SKURATOVSKY, I. A. KASHIRSKA,
T. S. TKACHENKO*

EFFECT OF LUBRICANTS ON FATIGUE WEAR AND QUALITY OF GEARS FRICTION SURFACES

The results of the study of the lubricants influence on the fatigue removal of friction pairs with local contact under rolling conditions with sliding are presented. Of the five tested oils, only the VNII NP 50-1-4u oil passed the tests for fatigue wear – $4,8 \cdot 10^5$ cycles (20 hours). But even on this oil, after 20 hours of testing a single chipping ulcer was found on the friction surface. The connection between the lubricating layer thickness and the time to occurrence of the chipping on the gear wheels friction surfaces is shown. The larger lubricating layer thickness corresponds to a greater number of cycles to the chipping for all the oils, except for the synthetic VNIII NP 50-1-4u. The volumetric temperature of the oils during the test varied insignificantly from the output to 45 °C (at the VNII NP 50-1-4u) to 55 °C (in MS-20). It has been established that the use of synthetic oils VNII NP 50-1-4u and IPN-10 as a lubricant medium in tribo compounds allows to increase the pitting resistance of friction surfaces of gears in 3,5 ... 4 times compared with the use of mineral oils. This is achieved due to the formation in the triboelements surface layers of self-generating organic film (SOP), which has high anti-wear properties. In connection with the fact that the formation of chemisorption films, which exhibit increased resistance to excitation, is not related to the hydrodynamic effect, the study of non-hydrodynamic lubrication and its influence on the fatigue wear of contact surfaces is grounded. The use of counterweight and anti-dusting properties of SOPs is the most promising and most economical way for further improvement of wear resistance and durability of tooth gearings, roller bearings and other parts, which does not require complication of production technology and enhancement of the quality of structural materials.

Keywords: lubricant action, lubricants, fatigue wear, self-generating organic film, contact damage.

References

1. Korablov A.I., Reshetov D.I., *Povysheniye nesushchey sposobnosti i dolgovechnosti zubchatikh peredach.* – M.: Mashinostroyeniye, 1968, – 288s.
2. Matveyevskiy M.R. *Temperaturnaya stoykost' granichnykh smazochnykh sloyov i tvordykh smazochnykh pokrytiy pri trenii metallov i splavov.* -M.: Nauka, 1971.- 164s.
3. Slupskiy V.I., Stadnik V.A., *O vliyaniy fizicheskikh svoystv na mekhanizm ustalostnogo vyrashivaniya zub'yev reduktorov.* – *Problemy treniya i iznashivaniya*, 1974, – №6. – s.148-152.
4. Mel'nik V.B. *Fiziko-khimichna model' mekhanizmu zmeshchival'noi dif' prisadok u lo-l'nomu kontakti zubchatikh peredach.* *Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences* December 27-28, 2017 – Radom, Republic of Poland: 2017. - C. 126-130.
5. Mel'nik V.B. *Smazochnoye deystviye masel s karbonoftoridnymi prisadkami pri nestatsionarnykh rezhimakh treniya* /V.B.Mel'nik, R.G.Mnatsakanov, V.P.Fedyna // *Problemi tertya ta znoshuvannya: Naukovo-tekh. zb.* – K: NAU, 2007. – Vip.47. – S. 250-267.
6. Rayko M.V. *Smazka zubchatykh peredach/* Rayko M.V. – K. : Tekhnika, 1970. – 196 s.