

1. Технологічний процес ремонту алюмінієвих блоків методом установки тонких гільз з сірого чавуну;
2. Переваги відремонтованих алюмінієвих блоків (ідеальна пара тертя (гільза-кільце; гільза-поршень), малий тепловий проміжок між гільзою та поршнем (від 0 до 0,02 мм), висока теплопровідність, надійність і можливість багаторазового відновлення, пропозиції що до серійного та масового виробництва;
3. Більш ефективне застосування триботехнічних нанотехнологій.

Література

1. Дмитриченко М.Ф., Мнацаканов Р.Г., Мікосянчик О.О. Триботехніка та основи надійності машин. Навчальний посібник. – К.: ІНФОРМАВТОДОР, 2006, — 216 с.
2. Марченко А.П., Рязанцев М.К. Двигуни внутрішнього згоряння. Харків: «Трапор», 2004 р.
3. Дубов В.С., Обзоров В.С., Ретин А.А. Особенности системы охлаждения. — Зарубежная военная техника, 1990 г.
4. Ховах М.С., Воинов А.Н., Архангельский В.М. Автомобильные двигатели. Підручник. – М., Машиностроение, 1977, — 591 с.
5. Масино М.А., Алексеев В.Н. Автомобильные материалы: Справочник инженера-механика. — Транспорт, 1979, — 365 с.
6. Сервис: рекомендации и информация KolbenSchmidt. Расход масла и потери масла.
7. Хрулев А.Э. «Ремонт двигателей зарубежных автомобилей». За рулем, 1998 г.

УДК 621.891

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ СТЕАРИНОВОЇ КИСЛОТИ НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БАЗОВОЇ ОЛИВИ

Доктор технічних наук Дмитриченко М.Ф.,
Лізанець В.І.

В статті представлені результати експериментальних досліджень механізму мастильної дії базової оливи I-20A з різною концентрацією стеаринової кислоти в стаціонарних умовах тертя. Встановлені закономірності формування мастильного шару в контакті. Визначено вплив граничних плівок на зміну мікротвердості поверхневих шарів металу при напрацюванні.

The paper presents the results of experimental studies of the mechanism of the lubricating base oil I-20A with different concentration of stearic acid in the stationary conditions of friction. Established patterns of lubricating layer in the contact. The influence of boundary films on the change of microhardness of surface layers of metal at an operating time.

Фрикційні властивості (залежності коефіцієнта тертя від контактних параметрів і реологічних характеристик олив) є необхідними початковими даними при проектуванні зубчастих передач, кулачкових механізмів і підшипників [1]. Розробка ефективних мастильних матеріалів, підбір і визначення оптимальних режимів їх застосування повинні ґрунтуватися на гідному розумінні механізму утворення мастильних шарів, оскільки в них локалізуються зсув, термічні й інші процеси, які визначають стан трибосистеми в цілому.

Постановка проблеми. Напрямки підвищення надійності трибомеханічної системи повинні ґрунтуватися на мінімізації енергетичних витрат при створенні конструкційних елементів сучасної техніки. Поліфункціональність експлуатаційних властивостей мастильного матеріалу свідчить про його значний вплив на довговічність та працездатність контактних пар. Зміни енергетичного балансу в триботехнічному контакті за рахунок екзотермічних реакцій та сорбційних процесів на межі метал — олива, які призводять до утворення граничних модифікованих шарів на активованій поверхні металу, — це головні чинники, які визначають кінетику тертя та зносу. У разі утворення полімолекулярного граничного шару вирішальну роль відіграють молекулярно-кінетичні чинники, які визначають опір стоншуванню цього шару; при мономолекулярному адсорбційному шарі важливим фактором є міцність адсорбційного зв'язку і кінетика відновлення адсорбційного шару на ювенільній поверхні [2]. Присадки, що працюють в умовах граничного тертя, повинні складатися з суміші різних речовин, які мають проявляти ефективну адсорбційну

здатність молекул, що забезпечує утворення адаптаційної граничної плівки, яка захищає контактуючі пари тертя від безпосереднього контакту.

Метою даної роботи є дослідження закономірностей змащувальної дії, антифрикційних і реологічних властивостей базової оливи I-20A з різною концентрацією стеаринової кислоти в умовах локального контакту.

Аналіз мастильної здатності досліджувальних композицій, реологічних, антифрикційних і протизношувальних властивостей дозволить зрозуміти механізм дії у фрикційному контакті при додаванні стеаринової кислоти.

Стеаринова кислота (октадеканова кислота) — одноосновна карбонова кислота аліфатичного ряду. Відповідає такій хімічній формулі $C_{18}H_{36}O_2$, або $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ (рис. 1). Являється білою кристалічною речовиною, нерозчинною у воді і розчинною в діетиловому ефірі. Фізико-хімічні властивості стеаринової кислоти наведені в таблиці 1.

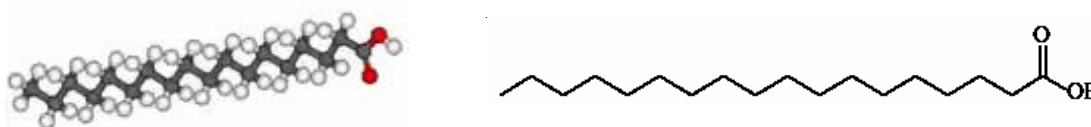


Рис. 1. Схематичні зображення стеаринової кислоти

Таблиця 1.

Фізико-хімічні властивості стеаринової кислоти

Загальні	
Хімічна формула	$C_{17}H_{35}COOH$ ($C_{18}H_{36}O_2$)
Молярна маса	284,48 г/моль
Фізичні властивості	
Густина	0,94 г/см ³
Розчинність у воді	3 мг/л (20 °С)
Показник заломлення (n_D)	1.4299
Термічні властивості	
Температура плавлення	69,6 °С
Температура кипіння	376,1 °С

Результати досліджень. Випробування проводилися на установці СМЦ-2 по схемі ролик-ролик в сталому режимі тертя (сумарна швидкість кочення 1,47 м/с). В дослідях при відносному ковзанні 15% в якості зразків використовувались циліндричні ролики ($d = 50$ мм), виготовлені зі сталі ШХ-15, при контактному навантаженні u_{max} 312 МПа. Початкова об'ємна температура оливи складала 24°С, після 2 годин випробувань поступово зростала до 36°С. В якості мастильного матеріалу використовувались базова мінеральна олива I-20A та суміші мінеральної оливи I-20A з добавками стеаринової кислоти в концентрації 0,1 та 2%.

У роботі [1] наголошується, що з прикладанням тангенціальної сили до статичного контакту, відбувається аномальна зміна моменту тертя, яка характеризує ступінь пластичної деформації тривалістю 0,015 — 0,025 с і відбувається тільки у присутності оливи, що підтверджує важливу роль змащувального шару в реалізації вказаного процесу.

Використовуючи метод вимірювання падіння напруги в режимі нормального тліючого розряду ми визначали товщину змащувального шару [3].

При контактній напрузі 312 МПа, початковій об'ємній температурі оливи 24°С в умовах динамічного навантаження для мінеральної оливи та її розчинів на початковому етапі припрацювання в контакті переважає змішаний режим мащення (л Н» 1,88 – 2,85), у міру адаптації граничного шару встановлюється гідродинамічний режим мащення (л Н» 3,97 — 7,43). При змащуванні сталі ШХ-15 мінеральною оли-

вою I-20A з додаванням стеаринової кислоти встановлено, що із збільшенням концентрації стеаринової кислоти сумарний лінійний знос контактних поверхонь змінюється – при 0,1% стеаринової кислоти сумарний знос підвищився на 52%, а при додаванні 2% стеаринової кислоти сумарний знос зменшився на 1% (рис. 2).

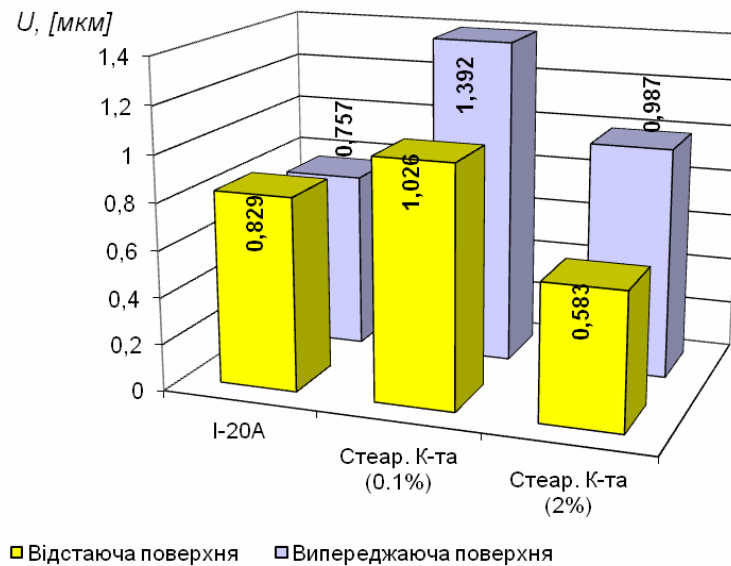


Рис. 2. Дослідження зносу контактних поверхонь в залежності від концентрації стеаринової кислоти

З рис. 2 видно відмінність лінійного зносу для випереджаючої та відстаючої поверхонь. Встановлено, що при концентрації стеаринової кислоти 0,1 та 2% більш зносостійким є відстаючий зразок. А при вмісті стеаринової кислоти 0,1%, знос випереджаючої поверхні збільшився приблизно на 41%, в порівнянні з аналогічним параметром при більшій концентрації.

Кількісні характеристики зносу випереджаючої та відстаючої поверхонь залежать від динаміки процесів зміцнення-розміцнення поверхневих шарів металу. У нашому випадку відбулося зміцнення як випереджаючої так і відстаючої поверхонь при змащуванні оливою з різною концентрацією стеаринової кислоти (табл. 2).

Таблиця 2.

Закономірність зміни мікротвердості зразків, виготовлених зі сталі ШХ-15, при напрацюванні

	Відстаючий зразок	Випереджаючий зразок
Концентрація стеаринової кислоти 0,1%		
Мікротвердість до експерименту (МПа)	6308,75	4635
Мікротвердість після експерименту (МПа)	7084,6 (зміцнення)	4984,7 (зміцнення)
Концентрація стеаринової кислоти 2%		
Мікротвердість до експерименту (МПа)	6308,75	4984,7
Мікротвердість після експерименту (МПа)	10066 (зміцнення)	9084,6 (зміцнення)

Різний характер зміни мікротвердості і зносу на відстаючій і випереджаючій поверхнях, на наш погляд, обумовлений складним напруженим станом матеріалу поверхневого шару, що виникає в результаті поєднання контактних напружень від нормального навантаження і тангенціальних сил. В міру формування й адаптації граничного шару в контакті домінує гідродинамічний режим тертя. Вплив змащення на контактну витривалість виявляється через пік гідродинамічного тиску в зоні виходу поверхонь з контакту, що створює різко виражену концентрацію напружень: виникаючі сили тертя в контакті підвищують напруження в поверхневому шарі матеріалу на відстаючій поверхні і зменшують їх на випереджаючій [4]. Однак, при змащуванні мінеральною оливою I-20 з 2%-им вмістом стеаринової кислоти, встановлений протилежний ефект: лінійний знос випереджаючого зразка майже в два рази більше, ніж у відстаючого. Ми вважаємо, що механізм цього процесу полягає в наступному. Вплив тангенціальних знакозмінних циклічних напружень на поверхню металу послаблюється в міру формування граничних адсорбційних

шарів при припрацюванні, ступінь зміцнення слабшає. Зміцнення випереджаючої поверхні відбулося більш інтенсивно ($H_{200} = 9084,6$ МПа – випереджаюча, $H_{200} = 10066$ МПа – відстаюча), тому збільшення зносу обумовлене підвищеним стиранням менш зміцненого шару випереджаючого зразка.

Ми вважаємо що, при початковому формуванні граничних шарів на контактних поверхнях проявляється пластифікуючий ефект Ребіндера. Далі, по мірі адаптації граничних плівок на випереджаючій поверхні відбувається зміцнення поверхневих шарів металу, що, на нашу думку, є наслідком пластифікації.

На наш погляд, визначальним фактором, що обумовлює збільшення зносу, є зміна вуглецеводневого складу мастильного матеріалу з уведенням стеаринової кислоти, що представляє собою, головним чином, високомолекулярні компоненти граничних вуглеводнів [6]. При цьому підвищуються в'язкість базової оливи й ефективність формування мастильної плівки, але не забезпечується протизношувальна активність компонентів мащення.

Дія присадок стеаринової кислоти різної концентрації в період припрацювання найбільш ефективно проявляється при посередній температурі внаслідок посилення адсорбційних процесів.

Введення карбонових кислот не змінює характер приросту товщини мастильного шару (рис. 3) й температури, що мали місце при випробуванні базової оливи. Однак мастильні шари утворюються при цьому повільніше.

Для пояснення встановлених закономірностей формування мастильного шару були досліджені реологічні характеристики олив в контактї згідно методиці [5] (табл. 3 – 4).

З проведених досліджень встановлено явище зниження товщини мастильного шару, що утворюється мінеральною оливою, під дією різної концентрації стеаринової кислоти. Про механізм дії стеаринової кислоти на самогенеруючі органічні плівки (СОП) можна говорити по тому, що низькомолекулярні карбонові кислоти розчиняють шари таких плівок.

Для мінеральної оливи I-20A з додаванням стеаринової кислоти встановлено поступове зменшення, в середньому, в 0,6 раза як ефективної в'язкості, так і напруги зсуву мастильного шару для випадку з 2%-ою концентрацією, а для 0,1%-ої концентрації зафіксовано зменшення напруги зсуву мастильного шару в 0,72 рази та збільшення ефективної в'язкості в 2.4 рази (табл. 3. 4).

h, мкм

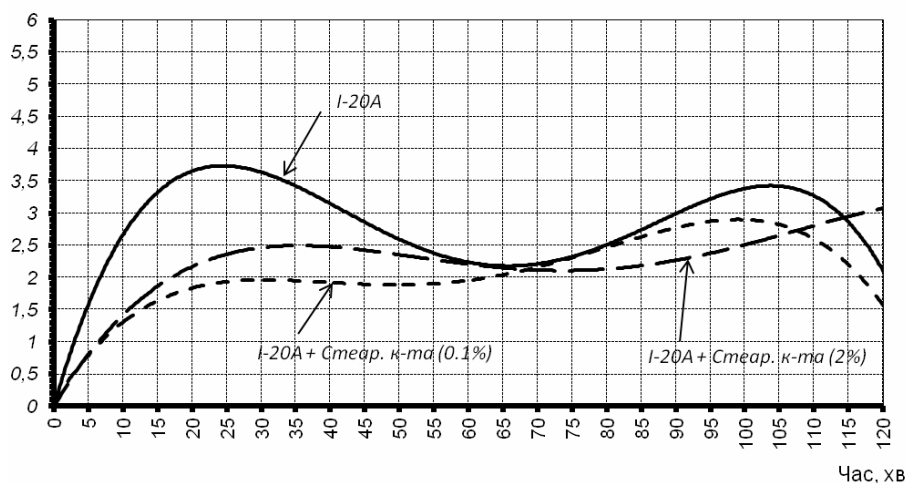


Рис. 3. Формування товщини мастильного шару в контактї

Дослідження процесу формування адсорбційних шарів і реологічних характеристик мінеральної оливи I-20A з різним вмістом стеаринової кислоти при $u_{max} = 312$ МПа дозволяє нам припустити, що по мірі напрацювання збільшується товщина адсорбційного шару і виникає монокристалічна зона граничного шару, яка характеризується малим опором ковзанню. Так, бездипольні молекули вуглеводнів при переході з розчиненого стану в твердо-кристалічний, під впливом поля твердої фази металу, зазнають зміни в структурі і орієнтується так, що їх осі лежать в площині, дотичній до поверхні [7]. Такий спосіб орієнтації характеризується слабкою адсорбційною взаємодією молекул, про що свідчить і зменшення напруги зсуву мастильного шару олив в ході експерименту (табл. 3, 4). Ахматов А.С. [8] характеризує такий режим тертя як режим рубіжного гідродинамічного тертя, для якого характерний нематичний механізм

машення. Для такого режиму мащення характерні низькі значення коефіцієнта тертя. Дослідження антифрикційних властивостей олів I-20A підтверджує наше припущення про нематичний механізм ковзання молекул олів. В умовах динамічного навантаження при контактній напрузі 312 МПа зафіксовані наступні значення коефіцієнта тертя (рис. 4).

Таблиця 3.

Зміна основних характеристик змащувальної дії в умовах стаціонарного режиму тертя мінеральної оливи I-20A з концентрацією стеаринової кислоти 0,1% ($\gamma=312$ МПа, $t=24^\circ\text{C}$)

Час, хв	h, мкм	$z_{\text{ef}} \cdot 10^2, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\gamma \cdot 10^4, \text{с}^{-1}$	$\phi, \text{МПа}$
5	0,842	0,005	14,975	4,246
10	1,152	0,009	11,118	5,616
20	2,101	0,012	7,261	5,178
30	1,412	0,008	11,262	5,178
40	2,138	0,011	7,268	4,931
50	2,041	0,011	7,292	4,575
60	1,410	0,007	10,264	4,164
70	2,286	0,013	5,527	4,081
80	2,897	0,016	4,349	4,136
90	2,837	0,015	4,541	3,890
100	2,330	0,013	5,504	4,136
110	3,017	0,017	4,452	3,998
120	2,320	0,012	5,987	3,917

де, h – товщина змащувального шару в період пуску при максимальному моменті тертя;

z_{ef} – ефективна в'язкість в контактї;

γ – градієнт швидкості зсуву мастильного шару;

ϕ – напруга зсуву мастильного шару.

Таблиця 4.

Зміна основних характеристик змащувальної дії в умовах стаціонарного режиму тертя мінеральної оливи I-20A з концентрацією стеаринової кислоти 2% ($\gamma=312$ МПа, $t=24^\circ\text{C}$)

Час, хв	h, мкм	$z_{\text{ef}} \cdot 10^2, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\gamma \cdot 10^4, \text{с}^{-1}$	$\phi, \text{МПа}$
5	0,489	0,020	9,160	5,424
10	1,482	0,012	4,635	6,492
20	2,645	0,022	4,656	5,917
30	2,609	0,018	4,924	5,150
40	2,479	0,014	5,359	4,548
50	2,403	0,014	5,290	4,246
60	2,788	0,015	4,898	4,383
70	2,795	0,014	5,233	4,219
80	1,829	0,010	6,950	3,998
90	1,585	0,008	7,989	3,808
100	3,062	0,015	4,275	3,780
110	3,513	0,015	3,856	3,561
120	2,995	0,013	4,744	3,479

Базуючись на вказаних експериментальних даних, можна пояснити одержані результати впливу твердості та реологічних характеристик на характер прояву змащувальної здатності оливи в режимі припрацювання. Зменшення твердості в початковий період сприяє пластичній деформації і підвищеному зношуванню контактуючих пар, що в свою чергу викликає механічне руйнування мастильної плівки [9]. Це узгоджується з нашими результатами, коли внаслідок припрацювання зразків на сталі ШХ-15 змащувальний шар різко зменшує товщину (рис. 3). Проте зменшення твердості в початковий період також сприяє прискоренню процесу припрацювання, збільшенню поверхні контакту. Тобто варіювання по твердості дослідного зразка може ініціювати той або інший конкуруючий процес і змінювати змащувальну здатність оливи.

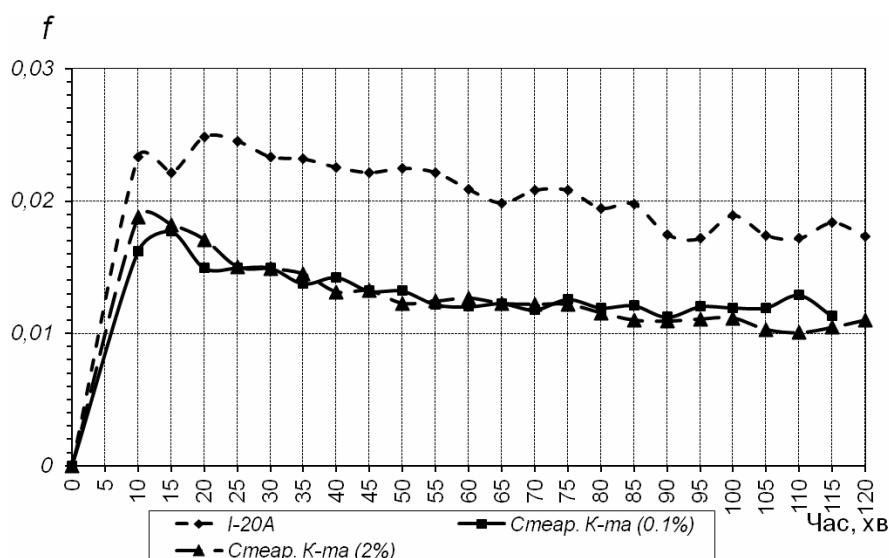


Рис. 4. Зміна коефіцієнта тертя при напрацюванні в стаціонарному режимі тертя

Висновки. Дослідження впливу концентрації стеаринової кислоти на формування адсорбційних шарів і їх змащувальну дію в умовах локального контакту дозволило встановити закономірності зношування пар тертя при змащуванні мінеральною оливою I-20A. Встановлено вплив граничних плівок на мікротвердість поверхневих шарів металу, а також закономірності формування мастильного шару в контакті. У контакті сталь-сталь формування шарів затримується при початковому напрацюванні, в подальшому, при стабілізації основних триботехнічних параметрів контакту їх кінцева товщина зменшується.

Встановлений нематичний механізм мащення для мінеральної оливи I-20A з різною концентрацією стеаринової кислоти, який характеризується взаємозв'язком реологічних та антифрикційних властивостей мастильного шару в контакті.

Література

1. Дмитриченко Н.Ф. Еластогідродинаміка: теорія та практика. – Львів: НТУ «Львівська політехніка», 2000. – 224 с.
2. Фукс Г.И. Адсорбция и смазочная способность масел // Трение и износ. — том IV, №3. — 1983. — С. 398—411.
3. Райко М.В. Смазка зубчатых передач. – Киев: Техника, 1971. – 196 с.
4. Крилов К.А., Хаймзон М.Е. Долговечность узлов трения самолетов. М., Транспорт, 1976, 182 с.
5. Дмитриченко Н.Ф., Мнацаканов Р.Г. Смазочные процессы в условиях нестационарного трения. – Житомир: ЖИТИ, 2002.- 308 с.
6. Справочник по триботехнике. т. I. Теоретические основы, под ред. Хебды М., Чичинадзе А.В., М., 1989.
7. Нефтепродукты. Свойства, качество, применение: Справочник. / Под ред. Б.В.Лосикова. — М.: Химия, 1966. — 398 с.
8. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: ГИФМА, 1963. – 472 с.
9. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. М., Машиностроение, 1982г., 250 с.