

**Мнацаканов Р.Г.,
Лізанець В.І.**

Національний транспортний університет,
м. Київ, Україна

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ РІПАКОВОЇ ОЛИВИ НА ТРИБОТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ КОНТАКТУ

Постановка проблеми

Розробка ефективних мастильних матеріалів, підбір і визначення оптимальних режимів їх застосування повинні ґрунтуватися на ясному розумінні механізму утворення мастильних шарів, оскільки в них локалізуються зсув, термічні й інші процеси, які визначають стан трибосистеми в цілому.

В 50-ті роки виявлене й розпочате дослідження самогенеруючих органічних плівок (СОП), що утворюються з мінеральних олив на поверхнях тертя. Такі плівки мають високі протизносні властивості й відіграють найважливішу роль у забезпеченні нормальної роботи різних вузлів тертя, зокрема зубчастих передач.

Формування шарів СОП і їх властивості значною мірою визначаються хімічним складом мастильних матеріалів. Складовою частиною сучасних мастильних матеріалів на основі мінеральних олив є вуглеводневі кислоти - парафінового й нафтенного ряду. Ці кислоти присутні в невеликих кількостях у мінеральних оливах внаслідок недосконалості очищення олив, а також у результаті їх широкого застосування як компонентів присадок різного призначення.

Аналіз досліджень і публікацій

Сучасний стан використання рослинних олив як мастильних матеріалів - машинних олив, пластичних мастил, мастильно-охолоджуючих технологічних засобів (МОТЗ), мастильних паст, брикетів і покриттів - періодично висвітлюється в публікаціях [1]. Дослідження хімії і технології рослинних олив як антифрикційних матеріалів та створення композиційних мастильних матеріалів на їх основі стимулює прогнозована вичерпаність розвіданих покладів вугілля, нафти та газу. Крім того, мінеральні і синтетичні мастильні матеріали, які використовує сучасна техніка, є потужними забруднювачами навколишнього середовища. Рослинні оливи перспективні як самостійні мастильні матеріали та дисперсійне середовище для композиційних рідких і пластичних мастил та рідких палив. За останні 10-15 років різко зросла зацікавленість науковців і споживачів практичним застосуванням рослинних олив, а також продуктів і відходів їх переробки як базових компонентів і присадок до мінеральних олив [2].

Систематичні дослідження, які присвячені антифрикційним та іншим властивостям рослинних олив, присадок та пластичних мастил на їх основі, вельми нечисельні, і до того ж майже не вивчені механізми їх дії, процеси хімічної модифікації металевих поверхонь тертя та властивості плівок, що утворюються на таких поверхнях.

Таблиця 1

Хімічний склад ріпакової оливи за вуглеводневими кислотами

Кислота	Вміст у %
Насичені жирні кислоти	
Миристинова	0,5
Пальмітинова	2-4
Стеаринова	1-1,5
Арахінова	0,5
Бегенова	1
Лігноцеринова	1
Ненасичені жирні кислоти	
Пальмітолева	сліди
Олеїнова	15 - 60
Гадолейнова	2 - 7
Ерукова	5 - 60
Лінолева	15 - 20
Ліноленова	7 - 9

Рослинні оливи являють собою складні ефіри гліцерину та вищих одноосновних карбонових кислот. За [1] основні хімічні компоненти олив складають олеїнова, лінолева, пальмітинова, стеаринова, арахінова, бегенова і ліноленова кислоти. Крім того, ріпакова олива містить також ерукову, гадолейнову, лігноцеринову і міристинову кислоти (табл. 1).

Аналіз фізико-хімічних властивостей ріпакової оливи [1] показав, що температура її плавлення коливається від -15 до -4 °С; густина при 15 °С - від 911 до 918 кг/м^3 ; температура деструкції - від 240 до 250 °С; число омилення від 170 до 196 мг КОН/г ; йодне число від 94 до 106 $\text{мг I}_2/100\text{г}$; дистиляційне число - $36,5$. Рослинні оливи мають достатньо високу молекулярну масу в межах $850-940$, що визначає їх низьку леткість навіть при глибокому вакуумі. Рослинні оливи нерозчинні у воді, малорозчинні у спиртах і добре розчиняються у хлороформі, чотирихлористому вуглеводні, ацетоні, бензині, діетиловому ефірі, бензолі і сірковуглеводні [3].

Такі характеристики ріпакової оливи дають підстави стверджувати, що їх можна використовувати в якості ефективних дисперсійних середовищ і для синтезу присадок протизадирного, протизносного та комплексного призначення композиційних мастильних матеріалів та мастильно-охолоджуючих технологічних засобів і паст для механічної обробки металів [4].

Мета роботи

Метою проведених досліджень було дослідження механізму впливу концентрації ріпакової оливи в базовій основі I-20A на формування шарів СОП і їх змащувальну дію в умовах локального контакту, а також встановлення закономірностей зношування пар тертя.

Результати досліджень

Випробування проводилися на установці СМЦ-2 по схемі ролик-ролик в сталому режимі тертя (сумарна швидкість кочення $1,46$ м/с). В дослідях при відносному ковзанні 15% в якості зразків використовувались циліндричні ролики ($d = 50$ мм), виготовлені зі сталі Ст. 45, при контактному навантаженні $\sigma_{\text{max}} 312$ МПа. Початкова об'ємна температура оливи складала 14 °С, після 2 годин випробувань поступово зростала до 30 °С. В якості мастильного матеріалу використовувались базова мінеральна олива I-20A та її суміші мінеральної оливи I-20A з добавками ріпакової оливи в концентрації ($0,1$; $0,2$; 1 і 2%).

Зношування твердих поверхонь є складним процесом, який частіше за все обумовлений як хімічною взаємодією, так і фізичним пошкодженням поверхонь. Будь-яка незначна зміна умов тертя може повністю змінити характер зношування. При змащуванні сталі Ст. 45 мінеральною оливою I-20A встановлено, що із збільшенням концентрації ріпакової оливи зростає лінійний знос контактних поверхонь – при $0,2\%$ ріпакової оливи сумарний знос підвищився на 39% , при 1% – на 40% , при 2% – на 87% в порівнянні з даним параметром при мащенні товарною оливою I-20A, а при додаванні $0,1\%$ ріпакової оливи сумарний знос зменшився на 16% (рис. 1).

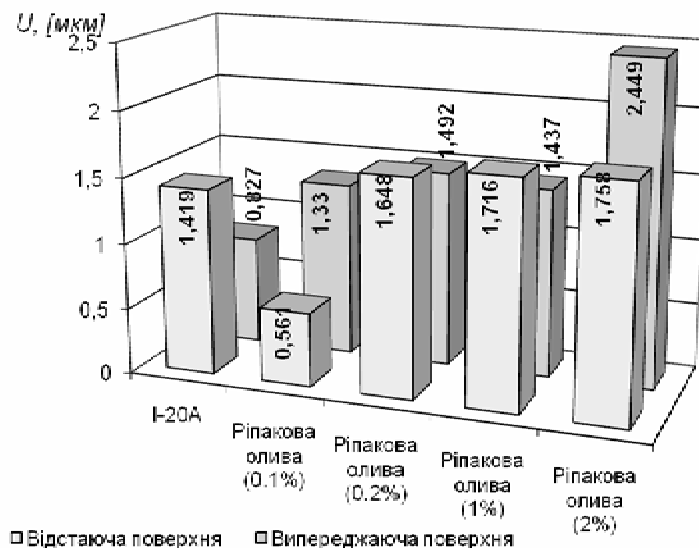


Рис. 1 – Дослідження зносу контактних поверхонь в залежності від концентрації ріпакової оливи

З рис. 1 видно відмінність лінійного зносу для випереджаючої та відстаючої поверхонь. Встановлено, що при концентрації ріпакової оливи $0,2$ та 1% більш зносостійким є випереджаючий зразок, а при концентрації $0,1$ та 2% – відстаючий зразок. Так, при вмісті ріпакової оливи 2% , знос випереджаючої поверхні збільшився приблизно на 72% , в порівнянні з аналогічним параметром при нижчій концентрації.

Кількісні характеристики зносу випереджаючої та відстаючої поверхонь залежать від динаміки процесів зміцнення-розміцнення поверхневих шарів металу (табл. 2).

Таблиця 2

**Закономірність зміни мікротвердості зразків,
виготовлених зі сталі Ст. 45, при напрацюванні**

	Відстаючий зразок	Випереджаючий зразок
Концентрація ріпакової оливи 0,1 %		
Мікротвердість до експерименту (МПа)	6063,1	6674,5
Мікротвердість після експерименту (МПа)	9270 (зміцнення)	8408,2 (зміцнення)
Концентрація ріпакової оливи 0,2 %		
Мікротвердість до експерименту (МПа)	6792	643,3
Мікротвердість після експерименту (МПа)	6254 (розміцнення)	7567 (зміцнення)
Концентрація ріпакової оливи 1%		
Мікротвердість до експерименту (МПа)	7585	6746
Мікротвердість після експерименту (МПа)	6958 (розміцнення)	5132 (розміцнення)
Концентрація ріпакової оливи 2 %		
Мікротвердість до експерименту (МПа)	7617	4578
Мікротвердість після експерименту (МПа)	5382 (розміцнення)	7567 (зміцнення)

Встановлено, що після напрацювання знос відстаючої поверхні при 0,1; 0,2; 1 та 2 % об'ємного вмісту ріпакової оливи склав відповідно 0,561; 1,648; 1,716; 1,758 мкм, при цьому мікротвердість поверхневих шарів металу у випадках 2 – 4 знизилась на 538:627:2235 МПа відповідно, що свідчить про розміцнення поверхні тертя, а у випадку 1 – суттєво збільшилась на 320,69 МПа, що свідчить про її суттєве зміцнення.

Для випереджаючого зразка встановлений зворотній зв'язок між зносом та мікротвердістю поверхневих шарів металу. Так, у випадках 1, 2 та 4 знос склав відповідно 1,33; 1,492 та 2,449 мкм і при цьому відбулося значне зміцнення приповерхневих шарів матеріалу зразка на 1733,7:1134:2989 МПа відповідно, а у випадку 3 – мікротвердість зменшилась на 1614 МПа. Проте, при змащуванні мінеральною оливою I-20A з 0,1 % ріпакової оливи лінійний знос випереджаючої поверхні в два рази більший, ніж відстаючої. Ми вважаємо, що механізм цього процесу полягає в наступному. Вплив тангенціальних знакозмінних напруг на поверхню металу послаблюється у міру формування граничних адсорбційних шарів. Оскільки зміцнення відстаючої поверхні відбулося більш інтенсивно ($H_{200} = 9270$ МПа – відстаюча, $H_{200} = 8408,2$ МПа – випереджаюча), то збільшення зносу зумовлено підвищенням стиранням менш зміцненого поверхневого шару випереджаючого зразка.

На наш погляд, по мірі формування граничних плівок відбувається розміцнення поверхневих шарів металу на відстаючій поверхні, має місце ефект Ребіндера – окислювально-полімеризаційні плівки починають інтенсифікувати пластифікацію поверхні металу і відбувається зниження мікротвердості. Тому при початковому формуванні граничних шарів на контактних поверхнях проявляється пластифікуючий ефект Ребіндера внаслідок різновекторної направленості сил тертя на випереджаючій та відстаючій поверхнях. По мірі адаптації граничних плівок на випереджаючій поверхні відбувається зміцнення поверхневих шарів металу, що, на нашу думку, є наслідком пластифікації: за наявності на поверхнях тертя самоорганізуючих органічних плівок в процесі напрацювання метал розм'якшується, всі деформації, порожнини виходять назовні, при подальшому напрацюванні це сприяє утворенню м'якої зернистої структури і тим самим приповерхневі шари металу зміцнюються. Саме цим процесом роз'яснюється величина зносу поверхонь. Про механізм дії присадок вуглецевих кислот на шари СОП можна судити по тому, що низькомолекулярні вуглецеві кислоти розчиняють шари таких плівок.

Введення вуглецевих кислот не змінює характер приросту товщини мастильного шару (рис. 2) й температури (рис. 3), що мали місце при випробуванні базової оливи. Однак мастильні шари утворюються при цьому повільніше.

З досліджень проглядається вплив присадок вуглеводневих кислот на мастильні шари. З підвищенням концентрації ріпакової оливи приріст товщини змащувального шару збільшується в середньому на 9 % і 4 % у випадках з концентрацією 0,1 % та 0,2 % відповідно, а при концентрації 1 % та 2 % - зменшується на 10 % і 22 % відповідно.

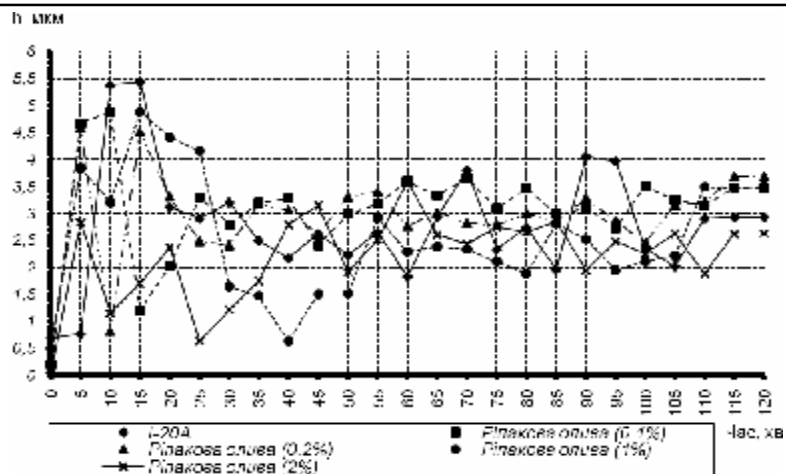


Рис. 2 – Формування товщини мастильного шару в контакті

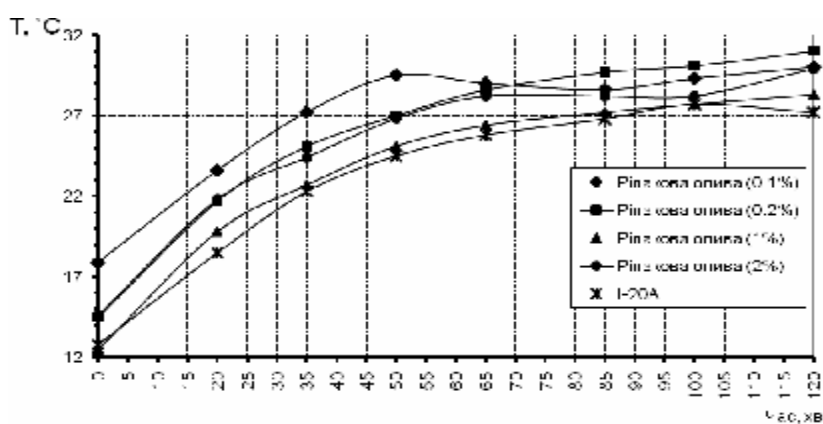


Рис. 3 – Приріст об'ємної температури оливи в контакті

Для пояснення встановлених закономірностей формування мастильного шару були досліджені реологічні характеристики (ефективна в'язкість (η_{ef}), градієнт швидкості зсуву (γ), напруга зсуву мастильного шару (τ)) оливи в контакті згідно методики [5] (табл. 3 - 6).

Таблиця 3

**Зміна основних характеристик змащувальної дії
в умовах стаціонарного режиму тертя мінеральної оливи I-20A
з концентрацією ріпакової оливи 0,1% ($\sigma=312$ МПа, $t=14^\circ\text{C}$)**

Час, хв	h , мкм	$\eta_{ef} \cdot 10^2$, Па · с	$\gamma \cdot 10^4$, с ⁻¹	τ , МПа
10	4,875	0,057	2,642	0,151
20	2,025	0,021	7,087	0,168
30	2,789	0,026	5,510	0,145
40	3,281	0,030	4,894	0,147
50	2,984	0,033	4,020	0,131
60	3,591	0,038	3,335	0,128
70	3,653	0,039	3,309	0,128
80	3,467	0,036	3,561	0,128
90	3,095	0,031	4,114	0,129
100	3,505	0,036	3,362	0,121
110	3,144	0,032	3,729	0,121
120	3,478	0,032	4,013	0,113

Таблиця 4

**Зміна основних характеристик змащувальної дії
в умовах стаціонарного режиму тертя мінеральної оливи I-20A
з концентрацією ріпакової оливи 0,2 % ($\sigma = 312$ МПа, $t = 14$ °C)**

Час, хв	h , мкм	$\eta_{ef} \cdot 10^2$, Па · с	$\gamma \cdot 10^4$, с ⁻¹	τ , МПа
10	0,815	0,009	14,556	0,135
20	3,309	0,034	4,335	0,148
30	2,409	0,028	4,875	0,139
40	3,059	0,031	3,846	0,118
50	3,300	0,032	3,630	0,115
60	2,764	0,025	4,578	0,113
70	2,819	0,023	4,669	0,105
80	2,989	0,022	4,162	0,091
90	3,280	0,024	3,825	0,093
100	2,454	0,018	5,107	0,092
110	3,208	0,022	4,095	0,090
120	3,687	0,023	3,909	0,088

Таблиця 5

**Зміна основних характеристик змащувальної дії
в умовах стаціонарного режиму тертя мінеральної оливи I-20A
з концентрацією ріпакової оливи 1 % ($\sigma = 312$ МПа, $t = 14$ °C)**

Час, хв	h , мкм	$\eta_{ef} \cdot 10^2$, Па · с	$\gamma \cdot 10^4$, с ⁻¹	τ , МПа
10	3,205	0,039	3,927	0,154
20	4,412	0,045	2,645	0,120
30	1,647	0,019	7,433	0,138
40	0,633	0,006	19,882	0,113
50	1,511	0,015	7,473	0,110
60	2,291	0,019	5,453	0,102
70	2,333	0,019	5,592	0,104
80	1,886	0,014	6,362	0,090
90	2,521	0,018	4,733	0,086
100	2,114	0,014	5,690	0,081
110	3,494	0,025	3,553	0,087
120	3,506	0,022	3,684	0,080

Таблиця 6

**Зміна основних характеристик змащувальної дії
в умовах стаціонарного режиму тертя мінеральної оливи I-20A
з концентрацією ріпакової оливи 2% ($\sigma = 312$ МПа, $t = 14$ °C)**

Час, хв	h , мкм	$\eta_{ef} \cdot 10^2$, Па · с	$\gamma \cdot 10^4$, с ⁻¹	τ , МПа
10	1,148	0,014	11,037	0,160
20	2,371	0,030	3,956	0,118
30	1,213	0,012	9,930	0,121
40	2,798	0,026	4,439	0,113
50	1,910	0,018	6,731	0,124
60	3,591	0,034	2,866	0,096
70	2,424	0,022	4,283	0,095
80	2,653	0,024	3,936	0,094
90	1,941	0,017	6,335	0,105
100	2,253	0,018	5,664	0,103
110	1,885	0,014	7,308	0,103
120	2,629	0,018	5,520	0,102

Дослідження процесу формування адсорбційних шарів і реологічних характеристик мінеральної оливи I-20A з різним вмістом ріпакової оливи при $\sigma_{\max} = 312$ МПа дозволяє нам припустити про реалізацію наступного механізму мащення в контакті. У міру напрацювання в умовах експерименту 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 орієнтуються так, що їх осі лежать в площині, дотичній до поверхні [6]. Такий спосіб орієнтації характеризується слабкою адсорбційною взаємодією молекул, про що свідчить і зменшення напруги зсуву мастильного шару оливи в ході експерименту (рис. 4). Ахматов А.С. [7] характеризує такий режим тертя як режим рубіжного гідродинамічного тертя, для якого характерний нематичний механізм мащення. Для такого режиму мащення характерні низькі значення коефіцієнта тертя. Дослідження антифрикційних властивостей оливи I-20A підтверджує наше припущення про нематичний механізм ковзання молекул оливи – в умовах динамічного навантаження при 312 МПа зафіксовані наступні коефіцієнти тертя (рис. 5).

Коефіцієнти тертя, характерні для I-20A, у міру напрацювання, після адаптації адсорбційного шару більші в середньому на 11 % для 0,1 % ріпакової оливи, а для 0,2; 1 і 2 % зменшуються на 15; 23 і 2 % відповідно. Кращий прояв антифрикційних властивостей оливи обумовлений, насамперед, утворенням стабільних молекулярних текстур з паралельною орієнтацією молекул. Зменшення коефіцієнта тертя на наш погляд, пов'язано із зменшенням енергії взаємодії молекул, що підтверджується зниженням напруг зсуву мастильного шару в порівнянні з базовою оливою I-20A.

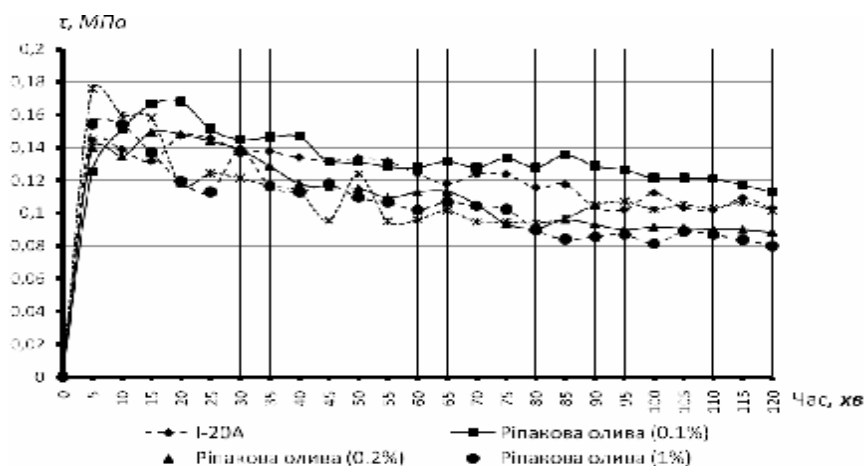


Рис. 4 – Зміна напруги зсуву мастильного шару оливи в ході експерименту

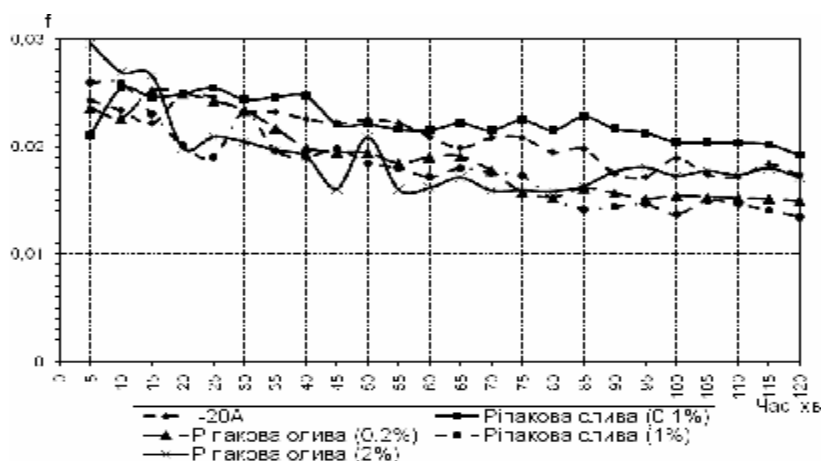


Рис. 5 – Зміна коефіцієнта тертя при напрацюванні в стаціонарному режимі тертя


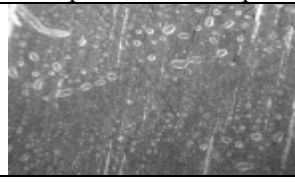
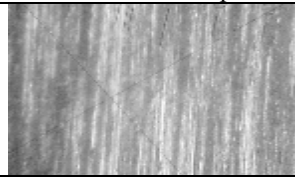
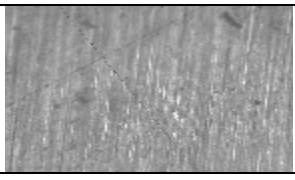
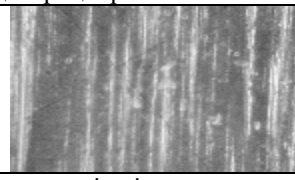
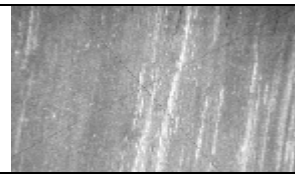
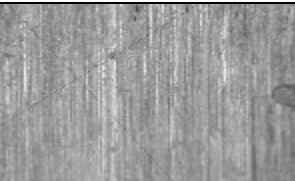
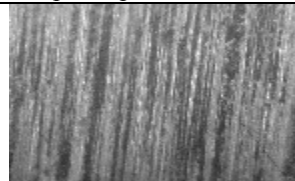
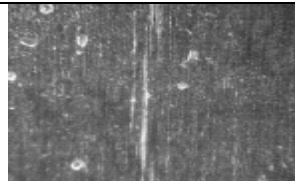
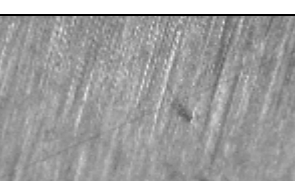

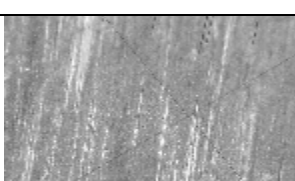
Дані мікрофотографічного дослідження контактних поверхонь характеризуються наступними закономірностями (табл. 7).

Найбільш суттєві зміни на поверхнях тертя встановлені для відстаючого зразка при концентрації ріпакової оливи 1 % та для випереджаючого зразка при концентрації 0,1 %, що можна пояснити наявністю сформованого адсорбційного шару фізичної природи і хемосорбційної плівки при напрацюванні, в

решті випадків сформовані мінеральною оливою адсорбційні шари мають фізичну природу – внаслідок слабкої адсорбційної взаємодії молекул легко видаляються з поверхні металу при витиранні роликів.

Таблиця 7

Оптичне дослідження поверхонь тертя після напрацювання

Концентрація ріпакової оливи 0,1 %		
До дослідю	Після дослідю	
	Випереджаюча поверхня	Відстаюча поверхня
		
Концентрація ріпакової оливи 0,2 %		
		
Концентрація ріпакової оливи 1 %		
		
Концентрація ріпакової оливи 2 %		
		

У випадку з 2 % концентрацією ріпакової оливи, на випереджаючій поверхні є явні сліди руйнування граничного шару і утворених хемосорбційних плівок в наслідок більш інтенсивного металевого контакту пар тертя при напрацюванні.

Висновки

Дослідження впливу концентрації ріпакової оливи в мінеральній оливі I-20A на формування адсорбційних шарів і їх змащувальну дію в умовах локального контакту дозволило встановити закономірності зношування пар тертя. Встановлені закономірності формування мастильного шару в контакт: в трибоспряженні сталь-сталь формування шарів затримується при початковому напрацюванні, в подальшому, при стабілізації основних триботехнічних параметрів контакту їх кінцева товщина зменшується. Визначено вплив граничних плівок на зміну мікротвердості поверхневих шарів металу при напрацюванні.

Література

1. Виноградова И.Е. Противозносные присадки к маслам. – М.:Химия, 1972. – 272 с.
2. Крачун А.Т., Морарь В.Э., Крачун. СВ. // Трение и износ. – 1990. – 11, №5. – С. 929-932.
3. Фукс И.Г., Евдокимов А. Ю., Джамалов А. А. // Химия и технология топлив и масел. – 1992. – № 6. – С. 36-38.
4. Сіренко Г.О., Сав'як О.Л. // Вісник Прикарп. ун-ту. – 2002. – №3. – С. 117-142.
5. Дмитриченко Н.Ф., Мнацканов Р.Г. Смазочные процессы в условиях нестационарного трения. – Житомир:ЖИТИ, 2002. – 308 с.
6. Нефтепродукты. Свойства, качество, применение: Справочник. / Под ред. Б.В.Лосикова. – М.: Химия, 1966. – 398 с.
7. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: ГИФМА, 1963. – 472 с.

Надійшла 23.03.2011