

<sup>1,2</sup> Ю. Л. Іщук, д-р техн. наук, проф.,  
<sup>1</sup> О. О. Міщук, канд. ф.-м. наук, старш. наук. співроб.,  
<sup>1</sup> А. В. Богайчук, асп.,  
<sup>2</sup> О. О. Македонський, канд. техн. наук,  
<sup>2</sup> О. В. Шапошник, інж.

## ЗМАЩУВАЛЬНА ДІЯ МАСТИЛ З ПОГЛЯДУ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МЕТАЛУ

<sup>1</sup> Український науково-дослідний інститут  
нафтопереробної промисловості «МАСМА», м. Київ  
<sup>2</sup> ВАТ «АЗМОЛ», Бердянськ

*Наведено результати систематичних досліджень трибологічних характеристик мильних мастил, що мають високу змащувальну здатність. Унаслідок аналізу властивостей поверхонь тертя зроблено висновки, що доводять значущість мильного загусника в забезпеченні ефективної змащувальної дії сучасного мастила.*

**Вступ і постановка проблеми.** Антифрикційні мастила залежно від типу загусника, додатків та наповнювачів можуть бути багатофункціональними, автомобільними, індустріальними тощо [1]. Їх змащувальну дію зумовлено різними процесами, що створює труднощі її дослідження [2–14].

Спеціалізація дослідників суттєво впливала і впливає на характер сприйняття ними феномену змащування. В 60–80 роки минулого століття набули значного розвитку декілька наукових напрямів. Серед хіміків-технологів дотепер поширені погляди щодо ефективності гідродинамічного роз'єднання поверхонь пари тертя мастильним середовищем та формування стійких граничних шарів адсорбційного походження. Вважали також, що взаємодія між поверхнево-активними додатками та поверхнями тертя металів за високих навантажень призводить до формування хімічних плівок. Цим можна пояснити антифрикційну дію мастил та придушення ними процесів схоплювання поверхонь тертя [7–9].

Однак, зважаючи на характерний розмір частинок зношування металу, що значно переважає товщини граничного мастильного шару та змінюється на декілька порядків залежно від

режимів тертя, механізми протизношувальної активності мастильного матеріалу з позицій теорії граничного шару залишалися незрозумілими.

Важливий підхід до розгляду проблеми зношування було застосовано професором І. В. Крагельським та учнями [15], які зосередили увагу на металознавчих аспектах формування структури підповерхневих шарів та, дослідивши вплив дефектної підсистеми металу, здебільшого дислокаційної, змогли загалом пояснити процес зношування металу за жорстких умов тертя та схоплювання пар тертя. Недоліком створеної теорії молекулярно-механічного тертя вважаємо, однак, недостатньо чіткий зв'язок між зношуванням металу та мастилом, особливо за режимів нормального тертя.

Особливий науковий напрям у трибології розвинула київська наукова школа, очолювана професором Б. І. Костецьким [3; 16]. Теорії поверхневих вторинних структур металу розглянуто спряжені механохімічні перетворення як мастильного граничного шару, так і приповерхневого шару металу в контактній зоні тертя, що сприяло баченню «генетичного» зв'язку між протизношувальною ефективністю мастильного матеріалу та процесами утворення частинок зношування. Так, мастила, в яких дисперсійне середовище (олива), загущене мильною дисперсною фазою, формують на поверхні тертя адсорбційні прошарки, що впливають на механохімічні реакції в контактній зоні, на дифузійні процеси, деформування та подрібнення структури поверхневого шару, утворення зносостійких тонкоплівкових поверхневих структур та, врешті-решт, сприяють мінімізації зношування поверхонь тертя металу.

Відзначимо, що у Всесоюзному науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті нафтохімічної промисловості (тепер це УкрНДІНП «МАСМА»), що був головною організацією в СРСР з питань розроблення та застосування мастильних матеріалів, з метою комплексного вивчення впливу останніх на тертя та зношування металів і процеси металообробки була створена лабораторія трибологічних досліджень, в якій учнями Б. И. Костецького активно досліджувалися проблеми формування поверхонь тертя в широких діапазонах навантажень, швидкостей, частот обертів, температур. Важливою складовою

досліджень було інструментальне вивчення властивостей поверхонь тертя металів, що сприяло інтенсивному розвитку теорії вторинних структур [17; 18].

Теорію кристалоаморфних вторинних структур Б. І. Костецького натепер підтверджено і вона продовжує розвиватися у зв'язку з новим напрямом наноматеріалознавством, зокрема, вирішуються завдання зі створення аморфно-наноструктурних покриттів на металах. Водночас знаходять пояснення проблемні питання теорії.

Так, визначимо термін «вторинна структура» [16]: це ультрадисперсний твердий розчин або ультрадисперсні нестехіометричні хімічні сполуки активних атомарних елементів мастильного середовища в металі. Механізми утворення вторинної структури – це інтенсивна пружно-пластична деформація матеріалу в контактній зоні тертя, дифузійне насичення поверхневого шару металу активними хімічними елементами середовища та вплив мастильного матеріалу через перебігу глибокої механохімічної деструкції його молекул.

Водночас, й донині невирішені проблеми передбачення впливу на перебіг утворення вторинних структур колоїдної та молекулярної структури мастильного матеріалу, зокрема структур граничного мастильного шару [14; 18–20]. Актуальність цих проблем особливо посилюється внаслідок розвитку технологій сучасних вискоефективних комплексних мастил [20; 21].

Ще одним важливим дискусійним питанням є ймовірність конвективного (не дифузійного) масоперенесення елементів у поверхневих шарах металу в контактній зоні, що стосується, зокрема, механізмів впливу порошків неорганічних наповнювачів до мастил [22–24].

**Мета та завдання роботи.** Метою роботи є дослідження ролі мильного загусника в умовах високої змащувальної ефективності сучасного антифрикційного мастила.

Зважаючи на новизну проблеми, вивчали змащувальні властивості низки досконалих мильних мастил, що за своїм складом та фізико-хімічними характеристиками моделювали типові вискоефективні товарні мастила різного призначення. Мастила досліджували за різних умов тертя. Їх змащувальну ефективність

оцінювали методом побудови рейтингів мастил за головними групами трибологічних характеристик: антифрикційною, протизношувальною та протизадирною. Аналізуючи позиції мастил у різних рейтингах змащувальної ефективності виявляли мастила, що мали особливості. Для випадків цих мастил досліджували стан поверхонь тертя.

**Об’єкти та методи досліджень.** Перелік та характеристики мильних мастил наведено в табл. 1. Зазначимо, що дисперсійним середовищем цих мастил є нафтові оливи, в’язкість яких та їх груповий склад поряд з властивостями дисперсної фази та додатків також можуть суттєво впливати на величину досліджуваних характеристик [1; 4]. Але це вже є предметом окремих досліджень.

Таблиця 1

**Характеристика досліджених мастил**

Мас-тило	Ключові ознаки		
	Дисперсна фаза	Типи додатків*	Наповнювачі
<u>Мастила різноцільового (загального) призначення</u>			
A	Комплексне Li-мило	АО	
B	Комплексне Li-мило	АО+ AW/EP	
<u>Індустріальні мастила</u>			
C	12-Гідроксистеарат Li	EP	
D	Комплексне Ca-мило ЖК	АО+EP	
<u>Автомобільне мастило</u> <u>(для шарнірів рівних кутових швидкостей)</u>			
E	12-Гідроксистеарат Li	АО+EP	MoS <sub>2</sub> ; ПТФЕ

\*Додатки: АО – антиокиснювальний; AW – протизношувальний; EP – протизадирний.

Антифрикційні, протизношувальні та протизадирні характеристики мастил для різних кінематичних схем тертя оцінювали, використовуючи стандартні методи [25–27].

Дослідження проводили на пристроях тертя:

- Falex FB-FW Test Machine, ЧШМ-К1М, Falex-6 (чотирикулькова кінематична схема точкового контакту);

- модифікованому Falex-1 (Faville LeValle Corp.) – (кінематична схема лінійного контакту «блок-кільце»).

Властивості поверхонь тертя для різних мастил досліджували методами електронної растрової мікроскопії та електронної спектроскопії, використовуючи оже-спектральний мікросонд [28]. З метою вивчення профілів розподілу елементів у поверхневих шарах сталі поверхні тертя розпорозували променем йонів аргону.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Результати дослідження антифрикційних властивостей мастил, отримані згідно з ASTM D 5183 [25], ілюструє рис. 1. Їх аналіз виявляє такий рейтинг антифрикційної ефективності мастил:

$$B > D \geq C \geq A > E.$$

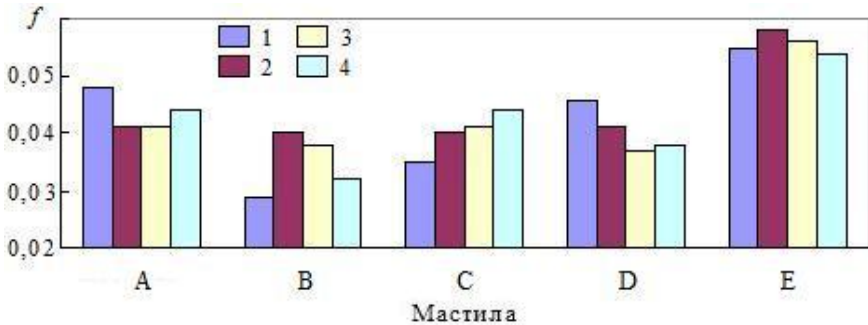


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тертя ( $f$ ) від навантаження:  
1 – 98 Н; 2 – 196 Н; 3 – 294 Н; 4 – 392 Н

Діаграми протизношувальних характеристик мастил, отримані для точкового та лінійного типів герцівського контакту пари тертя згідно з ГОСТ 9490 [26] та ASTM D 2509 [27] відповідно показано на рис. 2 та 3. Вони підтверджують результати роботи [21] щодо впливу типу кінематичної схеми тертя на рейтинг протизношувальної ефективності мастил.

За отриманими результатами для випадку точкового та лінійного герцівського контакту маємо рейтинги протизношувальної ефективності мастил (P2) та (P3) відповідно:

$$E > B \approx D \geq A > C.$$

$$B > D \geq C \geq A > E.$$

Рис. 4 та 5 ілюструють результати досліджень протизадірних характеристик мастил для випадків точкового (ГОСТ 9490 [26]) та лінійного (ASTM D 2509 [27]) типів герцівського контакту пари тертя.

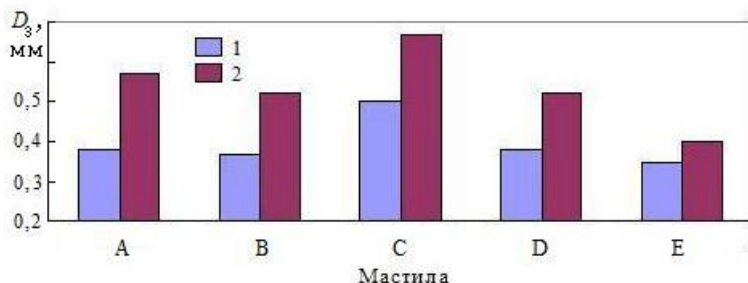


Рис. 2. Залежність діаметра сліду зношування ( $D_3$ ) від навантаження: 1 – 196 Н; 2 – 392 Н

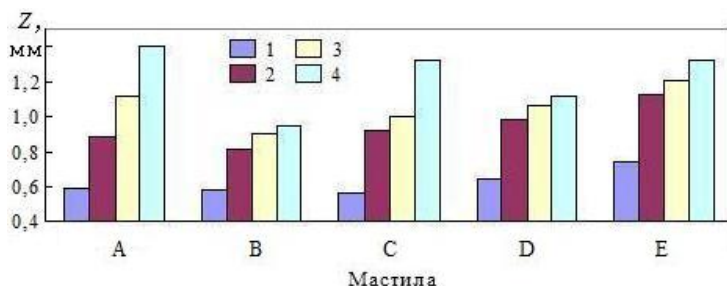


Рис. 3. Залежність ширини сліду зношування ( $Z$ ) від навантаження: 1 – 134 Н; 2 – 269 Н; 3 – 403 Н; 4 – 537 Н

За критичним навантаженням (характеристика  $P_K$ ) та навантаженням зварювання (характеристика  $P_3$ ) для умов точкового контакту спостерігаємо (рис. 4) дещо відмінні рейтинги протизадірної ефективності мастил ( $P_4$  та  $P_5$  відповідно):

$$E > B \geq A \geq D > C;$$

$$E > C \geq B > A \geq D.$$

За критичними навантаженнями (характеристики  $OK$ -навантаження та  $L-C.C.$  [21; 27]) для випадку кінематичної пари тертя з лінійним герцівським контактом (рис. 5) рейтинги

протизадірної ефективності мастил також інші (P6 та P7 відповідно):

$$D \approx B \approx A > C \approx E;$$

$$D > B \approx E > A > C.$$

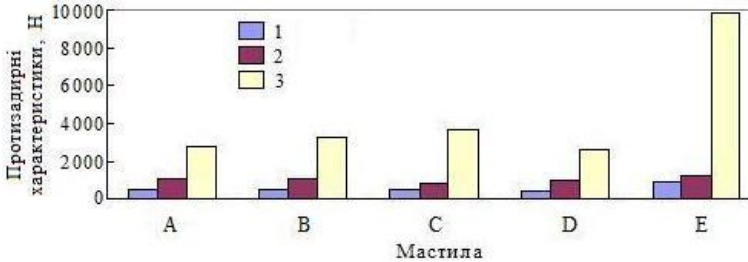


Рис. 4. Протизадірні властивості мастил у випадку точкового контакту (чотирикулькова пара тертя) [26]: 1 – індекс задиру ( $I_3$ ); 2 – критичне навантаження ( $P_K$ ); 3 – навантаження зварювання ( $P_3$ )

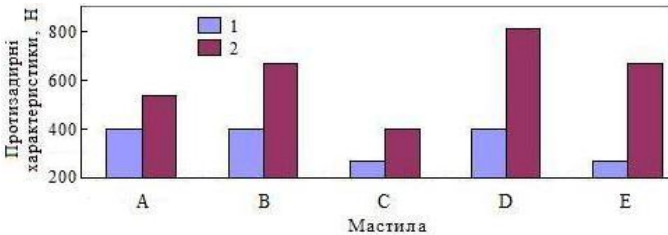


Рис. 5. Протизадірні властивості мастил у випадку лінійного герцівського контакту (пара «блок-кільце») [21; 27]: 1 – ОК-навантаження; 2 – критичне навантаження  $L-C.C.$

Порівняння всіх рейтингів змащувальної ефективності мастил P1–P7 виявляє, що одні й ті ж мастила займають різні позиції в рейтингах, побудованих за величинами різних трибологічних характеристик. Аналіз отриманих результатів дослідження змащувальної дії мастил, призначених для різних галузей застосування, підтверджує, загалом, висновки, зроблені нами в роботі [21], а тому на них не зупинятимемося.

Для пояснення змінних позицій одних і тих же мастил у різних рейтингах ефективності досліджено властивості поверхонь тертя, відібраних для випадку рейтингів P1, P2 (навантаження 392 Н) та P3 (ОК-навантаження), для таких мастил (табл. 2):

- *B* – одного з найкращих як в точковому , так і в лінійному контактах;
- *D* – ефективного в лінійному контакті, але з неоднозначною дією в точковому;
- *E* – найкращого в точковому контакті (не розглядаючи, однак, випадок коефіцієнта тертя), але малоефективного в лінійному.

Таблиця 2

**Відносна ефективність мастил згідно з рейтингами P1-P7 \***

Мастило	Номер рейтингу						
	Точковий контакт				Лінійний контакт		
	P1	P2	P4	P5	P3	P6	P7
<i>B</i>	в	в	в	с	в	в	с
<i>D</i>	в	с	с	н	с	в	в
<i>E</i>	н	в	в	в	н	н	с

\*) Позначення відносної ефективності мастил: в – висока; с – середня; н – низька.

Результати досліджень поверхневих шарів сталі на характерних ділянках поверхонь тертя проілюстровано рис. 6–8. Профілі розподілу свідчать про наявність у поверхневих шарах сталі після тертя значної кількості кисню (головним чином з повітряної атмосфери [12]), вуглецю (з вуглеводневих фаз мастила та зі сталі [10; 16; 22]), а також інших елементів (з додатків та наповнювачів, властивих відповідним мастильним матеріалам (див. табл. 1)). Відзначимо, що вплив кожного з елементів є суттєвим.

Мастило *B*, ефективність якого серед інших мастил найвища, сприяє формуванню під впливом механохімічних перетворень у зоні тертя поверхневих шарів сталі, що містять сірку, фосфор, кисень, вуглець. Унаслідок дії мастила *D* утворюються поверхневі шари механохімічного походження, збагачені киснем, вуглецем та, значно менше, сіркою і кальцієм. Мастило *E* обумовлює механохімічне формування нового стану сталевих поверхонь тертя під впливом сірки, вуглецю та молібдену (дисульфиду молібдену – табл. 1).

Для вивчення структурних особливостей різних поверхонь тертя сталі досліджували як характеристику щільності поверхневих шарів таку величину:



$$\text{Характеристика} = (S_n - S_{\text{vol}}) / S_{\text{vol}}, \quad (1)$$

де  $S_n = \sum_i I_{in} / g_i$  – сума нормованих інтенсивностей спектральних ліній всіх елементів, що відповідає їх загальній концентрації в  $n$ -й точці профілю розподілу концентрацій елементів у поверхневих шарах металу;  $g_i$  – коефіцієнт відносної чутливості  $i$ -го елемента [28];  $S_{\text{vol}}$  – значення  $S_n$  в об'ємі металу.

З досвіду вважаємо, що зменшення загальної концентрації елементів (від'ємні значення характеристики (1)) відповідає зменшенню щільності поверхневого шару порівняно з об'ємом металу та, навпаки, зростання величини (1) вище нуля характеризує ефект збільшення його щільності.

Профіль розподілу цієї характеристики щільності поверхонь тертя для випадків, що відповідають профілям концентраційних розподілів (рис. 6–8), проілюстровано рис. 9.

Загальний аналіз рис. 6–9 свідчить, що змащувальна ефективність мастил згідно з отриманими рейтингами є найкращою в тих випадках, коли формується структура поверхонь тертя з менш щільним («розрідженим») поверхневим шаром (характеристика (1) є меншою за  $-0,05$ ), товщина якого більша за 20 нм. І навпаки, низькі рейтинги мастил обумовлені формуванням ущільнених поверхневих шарів (характеристика (1) стає більшою за  $0,03$ ), що мають товщину понад 150 нм.

Зокрема, ефект формування ущільнених поверхневих шарів реєструємо у випадках відносно низької ефективності мастила Е згідно з рейтингами Р1 та Р3 (рис. 9, *в*, криві 1 та 3). За цих обставин на обох відповідних профілях розподілу (рис. 8, *а*, *в*) спостерігаємо наявність чітко вираженого поверхневого оксидного шару товщиною близько 50 нм. У свою чергу, для випадку високої ефективності мастила Е (рейтинг 2) маємо ефект зменшеної щільності поверхневого шару (рис. 9, *в*, крива 2), а профіль на рис. 8, *б* ілюструє, що товщина оксидного шару суттєво менша і, що важливо, він сформований на поверхні значно товщого поверхневого шару типу  $\text{FeMoS}_x$  механохімічного походження.

Напрошується висновок, що оксидний шар перешкоджає ефективній дії дисульфідіду молібдену, який є наповнювачем мастила Е (табл. 1).

Порівнюючи методи випробувань у випадках рейтингів P1 та P2 для точкового контакту пари тертя, відзначимо особливість першого з них, що стосується визначення антифрикційних характеристик мастил згідно з ASTM D 5183 [25]. В цьому випадку пару тертя перед випробуваннями попередньо припрацьовують у світлій оливі до утворення достатньо великого сліду зношування діаметром  $0,67 \pm 0,03$  мм. Отже, під час випробувань мастил згідно з ASTM D 5183 контакти чотирикулькової пари тертя вже не є герцівськими і точковими.

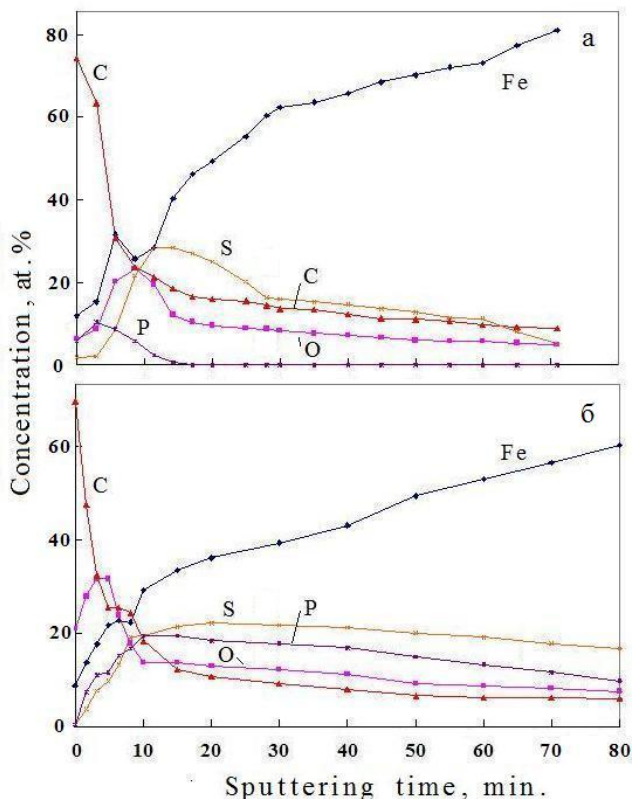


Рис. 6. Профілі розподілу концентрацій елементів у поверхневих шарах сталі для мастила В та чотирикулькової пари тертя за умов випробування: а – ASTM D 5183, рейтинг P1; б – ГОСТ 9490 (392 Н), рейтинг P2

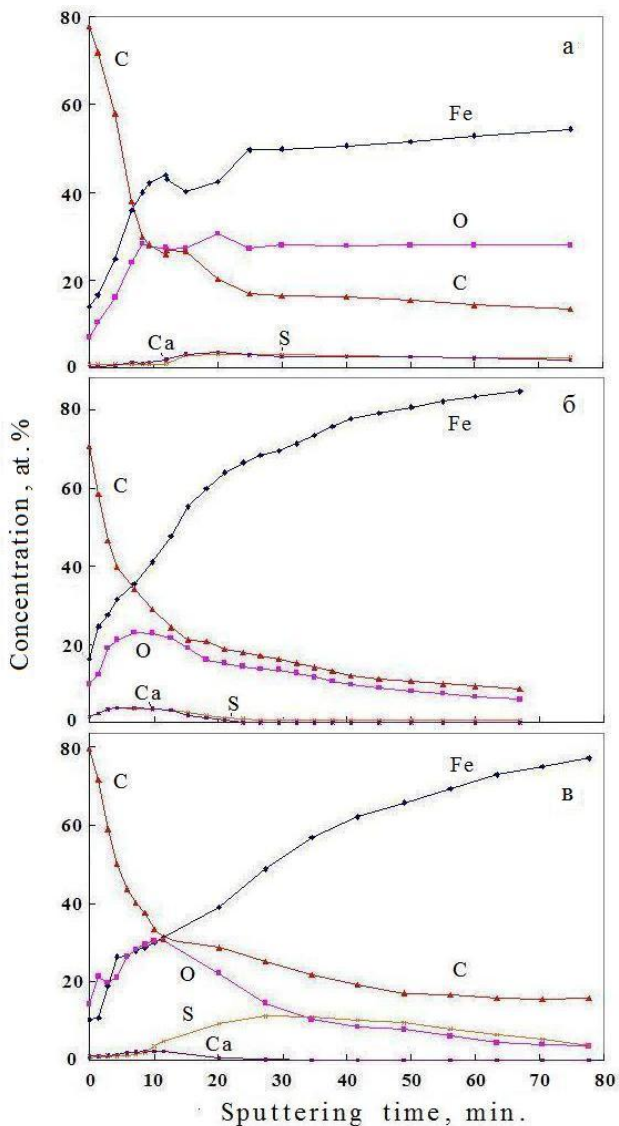


Рис. 7. Профілі розподілу концентрацій елементів у поверхневих шарах сталі для мастила D після тертя за умов випробування: *a* – ASTM D 5183, рейтинг P1; *б* – ГОСТ 9490 (392 Н), рейтинг P2; *в* – ASTM D 2509, рейтинг P3

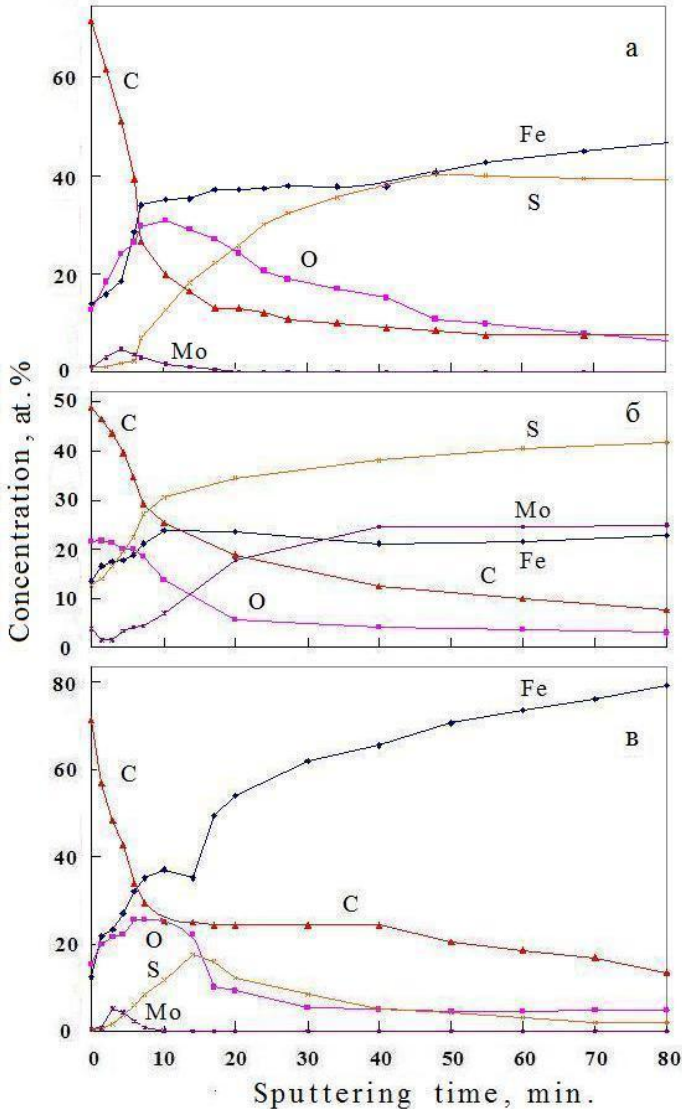


Рис. 8. Профілі розподілу концентрацій елементів у поверхневих шарах сталі для мастила Е після тертя за умов випробування: *a* – ASTM D 5183, рейтинг P1; *б* – ГОСТ 9490 (392 Н), рейтинг P2; *в* – ASTM D 2509, рейтинг P3

Тому констатуємо, що достатньо великі площі реального контакту поверхонь тертя як методикою визначення коефіцієнта тертя (рейтинг P1), так і у випадку лінійного контакту (рейтинг P3) сприяють нагромадженню на поверхнях тертя нанорозмірних оксидних частинок зношування сталі. Для мастила Е цей ефект проявляється як формування чітких поверхневих оксидних прошарків (див. рис. 8 а, в). Припускаємо, що ці оксидні частинки, акумульовані на поверхні мильним загусником мастила, і стають на заваді початковому закріпленню на поверхні металу частинок наповнювача MoS<sub>2</sub>.

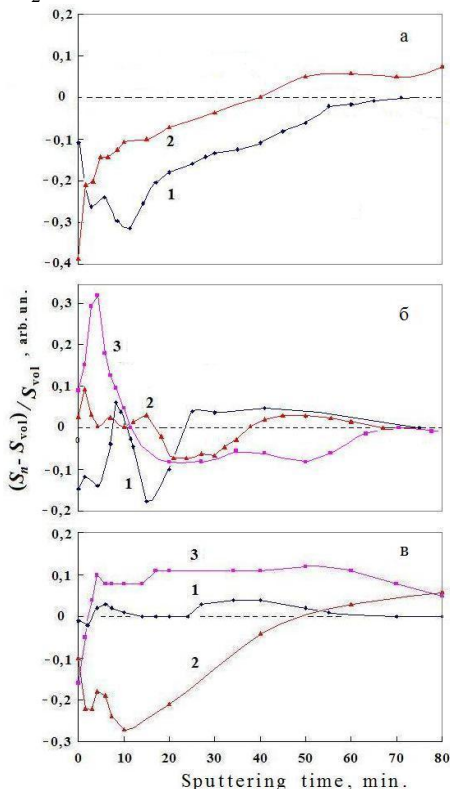


Рис. 9. Профілі розподілу щільності (характеристика (1)) поверхневих шарів сталі після тертя для: а – мастила В; б – мастила D; в – мастила Е.

Умови випробування: 1 – ASTM D 5183, рейтинг P1; 2 – ГОСТ 9490 (392 Н), рейтинг P2; 3 – ASTM D 2509, рейтинг P3

У випадку ж визначення діаметра сліду зношування (рейтинг Р2) мікрогеометрія точкового герцівського контакту, (зокрема значна кривизна поверхонь чотирикулькової пари тертя) сприяє винесенню частинок зношування за межі контакту та нагромадження частинок дисульфиду молібдену, що зумовлює формування зносостійкої поверхневої плівки типу  $\text{MoFeS}_x$  (рис. 8, б).

Аналіз приповерхневої частини всіх досліджених профілів вуглецю (рис. 6–8) та співвідношення концентрацій заліза і кисню свідчить про наявність механохімічно перетвореного поверхневого шару молекул мильного загусника мастила, що вміщує частинки зношування у вигляді оксидів заліза типу  $\text{FeO}$ .

Порівняння профілів на рис. 6–8 та оцінювання товщини поверхневого «вуглецево (вуглеводнево)-оксидного» шару виявляє, що комплексні мастила В і Д сприяють акумулюванню в поверхневому шарі більш дрібних оксидних частинок зношування (діаметром порядку 15 нм) порівняно з мастилом Е (розмір оксидних частинок до 50 нм), яке загущене простим літійовим милом. Очевидно, що низькомолекулярні компоненти мильного комплексу в комплексних мастилах краще пасивують поверхню наноскопічних оксидних частинок зношування та перешкоджають їх коагуляції в межах адсорбційного шару.

Отже, мильний загусник у процесі тертя «зв'язує» наноскопічні частинки зношування металу переважно оксидного типу, як свідчать концентраційні профілі розподілу елементів (рис. 6–8), чим сприяє, з одного боку, їх акумулюванню на поверхні тертя, а з другого – припиняє їх коагуляцію та нарощування до мікроскопічних розмірів. Ці процеси, що відбуваються в умовах механохімічного «перетирання» утворюваного граничного шару, одночасного впливу карбідних частинок зношування сталі, потребують подальших досліджень.

Згідно зі зробленими висновками можна очікувати, що тверді наповнювачі типу дисульфиду молібдену будуть значно ефективнішими в мильних комплексних мастилах порівняно з простими мильними мастилами. Водночас, під час дослідження змащувальної ефективності мастил з наповнювачами обов'язково потрібно враховувати геометрію контакту пари тертя (кривизну та площу поверхонь контакту).

Негативний вплив частинок зношування у випадках мастил В та Д нівелюється механохімічними перетвореннями контактної зони, властивими для цих мастил. Аналізуючи профілі на рис. 6 та 9, *а*, підсумуємо, що для мастила В важливою ознакою є механохімічне формування поверхневих шарів під одночасним впливом процесів дифузії сірки, фосфору та вуглецю, які зменшують уміст кисню та оптимізують вплив вторинних оксидних сполук. У свою чергу, мастило Д (рис. 7 та 9, *б*) підтримує водночас механохімічне окиснення та науглецювання поверхонь тертя під впливом кальцію та сірки.

Зазначимо, що закономірності рейтингів Р2 та Р3, що стосуються режимів нормального тертя сталеві пари, обумовлюють і закономірності рейтингів Р4 та Р6 відповідно, що характеризують протизадирні властивості мастил. Особливо показовим у цьому разі є випадок комплексного кальцієвого мастила Д (рис. 9, *б*). Зокрема, порівняно менша протизадирна ефективність цього мастила в точковому контакті (рейтинг Р4) співвідноситься з мінімальною товщиною «розрідженого» приповерхневого шару (рис. 9, *б*, крива 2), що формується під час визначення протизношувальної ефективності мастила (рейтинг Р2). І навпаки, найкраща протизадирна ефективність цього мастила у випадку лінійного контакту (рейтинги Р6 та Р7) корелює з наявністю в поверхневих шарах сталі «розрідженого» прошарку значної товщини (рис. 9, *б*, крива 3) для випадку визначення рейтингу Р3.

### **Висновки**

Аналіз результатів дослідження поверхонь тертя металів засвідчив, що рейтинги змащувальної ефективності досліджених мастил значною мірою обумовлені ефектами нагромадження на поверхнях тертя наноскопічних частинок зношування оксидного типу та характером механохімічних перетворень поверхневих шарів металу під впливом мастильного матеріалу, внаслідок чого утворюються поверхневі прошарки різної щільності.

Виявлено особливу роль мильного загусника в умовах ефективної змащувальної дії всіх компонентів сучасного мастила. Молекули мильного загусника зв'язують нанорозмірні оксидні частинки зношування металу, утримуючи їх на поверхнях тертя, та

забезпечують відсутність коагуляції цих частинок до мікроскопічних розмірів. Комплексний мильний загусник сприяє акумулюванню в поверхневому шарі дрібніших частинок зношування порівняно з простим загусником. Ці ефекти впливають на поверхневу активність інших компонентів мастила та пояснюють вищу ефективність комплексних мильних мастил порівняно з простими.

### Список літератури

1. *Ishchuk Yu.L.* Lubricating grease manufacturing technology. – New Delhi: New AGE International Publishers, 2005. – 224 p.
2. *Бойден Ф. П., Тейбор Д.* Трение и смазка твердых тел. – Москва: Машиностроение, 1968. – 544 с.
3. *Костецкий Б.И.* Трение, смазка и износ в машинах. – К.: Техніка, 1970. – 396 с.
4. *Ицук Ю.Л.* Состав, структура и свойства пластичных смазок. – Киев: Наук. думка, 1996. – 516 с.
5. *Райко М.В.* Смазка зубчатых передач. – К.: Техніка, 1970. – 196 с.
6. *Аксенов А.Ф.* Трение и изнашивание металла в углеводородных жидкостях. – Москва: Машиностроение, 1977. – 152 с.
7. *Фукс Г.И.* Адсорбция и смазочная способность масел // Трение и износ. – 1983. – Т. 4, № 3. – С. 398-414.
8. *Виноградова И.Э.* Противоизносные присадки к маслам. – Москва: Химия, 1972. – 272 с.
9. *Матвеевский Р.М.* Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов. – Москва: Наука, 1972. – 223 с.
10. *Мицук О.О., Ицук Ю.Л.* Поверхнева активність мастильного середовища при терті: Її вплив на стан приповерхневих мікрооб'ємів металу // Катализ и нефтехимия. – 1996. – № 2. – С. 50-55.
11. *Заславский Ю.С., Заславский Р.Н.* Механизм действия противоизносных присадок к маслам. – Москва: Химия, 1978. – 224 с.
12. *Виноградов Г. В., Подольский Ю. Я.* Механизм противоизносного и антифрикционного действия смазочных сред при тяжелых режимах граничного трения / В кн.: О природе трения твердых тел. – Минск: Наука и техника, 1971. – С. 281-304.
13. *Ward W.C., Najman M.* Properties of tribochemical films from various additives in grease generated under load // NLGI Spokesman. – 2006. – V. 70, No. 7. – P. 20-26.



14. *Cann Ph.* Grease lubricant film distribution in rolling bearing contacts // NLGI Spokesman. – 1997. – V. 61, No. 2. – P. 22-28.

15. *Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.* Основы расчетов на трение и износ. – Москва: Машиностроение, 1977. – 526 с.

16. *Поверхностная* прочность материалов при трении / Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К., Бершадский Л.И., Костецкая Н.Б., Ляшко В.А., Сагач М.Ф. – Киев: Техніка, 1976. – 296 с.

17. *Tribological* problems of surfactant application in lubricants / A.K. Karaulov, G.I. Cherednichenko, V.S. Romanov et.al. – In: Surfactant: Transact. World Congr., D.-A. Munchen, 1984. – P. 237-246.

18. *Mishchuk O.A., Ishchuk Yu.L.* Influence of surfactants on the state of surface microvolumes of the metal at friction / In: Abstract of World Tribology Congress, London, September 8-12, 1997. London: Inst. Mech. Eng., 1997. – P. 712.

19. *Уровень* структурирования и смазочная способность литиевых смазок / Р.М. Матвеевский, Д.В. Рябов, И.Г. Фукс и др. // Трение и износ. – 1987. – Т. 8, № 6. – С. 1010-1018.

20. *Ischuk Yu.L., Bulgak V.B., Stakhursky A.D.* Composition of lithium complex soap and its role in the formation of grease properties // NLGI Spokesman. – 1995. – V. 59, No. 1. – P. 21-24.

21. *Дослідження* змащувальної здатності антифрикційних мастил різного призначення методами ASTM / Ю.Л. Іщук, О.О. Мішук, О.О. Македонський та ін. // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2009. – Вип. 51. – С. 186-198.

22. *Трибохимия* металлоорганических систем / Г.А. Гороховский, В.Г. Чернышев, В.П. Рева, Л.В. Коваленко // Трение и износ. – 1988. – Т. 9, № 3. – С. 461-472.

23. *Hopple G.B., Loewenthal S.H.* Development, testing and characterization of MoS<sub>2</sub> thin film bearings // Surface and Coatings Technology. – 1994. – N 68/69. – P. 398-406.

24. *Development* of a high performance low molybdenum disulfide grease / Aswath P., Patel K., Munot S., Elsenbaumer R.L. // NLGI Spokesman. – 2007. – V. 70, No. 11. – P. 24-32.

25. *ASTM D 5183-95* (Reapproved 1999). Standard test method for determination of the coefficient of friction of lubricants using the Four-Ball Wear test machine.

26. *ГОСТ 9490-75* Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине.

27. *ASTM D 2509-93* (Reapproved 1998). Standard test method for measurement of load-carrying capacity of lubricating grease (Timken Method).

28. *Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии: Пер. с англ. / Под ред Д. Бриггса, М.П. Сиха. – Москва: Мир, 1987. – 600 с.*

*Ищук Ю.Л., Мищук О.А., Богайчук А.В., Македонский О.А., Шапошник А.В. Смазывающее действие пластичных смазок в фокусе структуры поверхностных слоев металла // Проблемы трения та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С.251–268.*

Приведены результаты систематических исследований трибологических характеристик ряда мыльных смазок, которые имеют высокую смазывающую способность. У результате анализа свойств поверхностей трения сделаны выводы, которые подтверждают значимость мыльного загустителя в обеспечении эффективного смазочного действия современной смазки.

Рис. 9, табл 2, список лит.: 28 наим.

### **Lubricities of the greases in a view of structure of metal surface layers**

The wide field of tribological characteristics of some soap greases which have high lubricities is investigated systematically. As a result of the analysis of friction surface properties the conclusions which confirm a role feature of the soap thickener in foundation of efficient lubricities of the modern lubricating grease are made.

Стаття надійшла до редакції 27.05.10