

Дмитриченко М.Ф., д.т.н., проф.  
Київський національний авіаційний університет

Карпенко Л.Ф., інж.  
Науково-технічний центр "Триботехніка" НАН України

Мнацаканов Р.Г., д.т.н., проф.  
Носачов О.П., інж.  
Київський національний авіаційний університет

### ВПЛИВ ТРИБОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ

*Розглядаються питання, пов'язані зі зміною міцнісних властивостей тонких поверхневих шарів в умовах динамічного навантаження для різних мастильних середовищ. Визначено взаємозв'язок між параметром питомої роботи тертя та окрихчуваності матеріалу зразків.*

*Встановлено існування етапу одночасного знеміцнення матеріалу контактних поверхонь і визначен вплив типу мастильного матеріалу на динаміку процесу і протизносні та антифрикційні властивості.*

Аналіз літературних даних свідчить, що ефекти, пов'язані з впливом мастильного середовища на характер структурних змін твердих тіл, надто різноманітні в своїх кінцевих субмікроскопічних проявах і експериментальному виявленні. Цим, в значній мірі, пояснюються протиріччя в їх інтерпретації [1]. Важливою обставиною в виявленні природи взаємодії середовища та твердого тіла є виділення тих первинних взаємодій, комбінаціями яких визначаються спостерігаємі ефекти. Сюди відносяться як власне поверхневі взаємодії, що локалізуються у відповідності до термодинамічних умов на межі розділу фаз, так і численні ефекти, пов'язані з примикаючим до межі шаром кінцевої товщини [2].

Для оцінки властивостей контактних поверхонь за глибиною розроблений метод мікромеханічних випробувань з реєстрацією кінетики безперервного вдавнення індентора.

Одержані результати дають можливість виявляти кінетичні закономірності зміни мікропластичної деформації на ділянці проникнення, оцінювати пружні та релаксаційні властивості матеріалу та інші особливості зміни структури і властивостей матеріалу при різних умовах тертя, а також отримати ряд кількісних критеріїв оцінки властивостей поверхневих шарів, зокрема, мікротвердості.

Для встановлення кінетики зміни мікротвердості в умовах динамічного навантаження проводилась серія експериментів для широкого кола мастильних матеріалів.

Фрикційна взаємодія зразків здійснювалась в умовах кочення з 20 % просковзуванням, в зв'язку з чим мікротвердість і ряд додаткових параметрів визначалися окремо для відстаючого та випереджаючого зразків.

На рис. 1, 2 і в таблиці 1 представлена зміна мікротвердості контактних поверхонь в функції напрацювання для різних мастильних матеріалів.

Загальний аналіз представлених кривих показує, що характер зміни мікротвердості різниться для випереджаючого та відстаючого зразків і умовно може бути розбитий на три етапи. На першому етапі зі збільшенням часу роботи на тертя, внаслідок деформаційних і дифузійних процесів, мікротвердість на випереджаючому зразку збільшується, а на відстаючому – зменшується. На другому етапі спостерігається протилежна тенденція – на випереджаючому зразку мікротвердість зменшується, а на відстаючому – збільшується. І, нарешті, третій етап характеризує деяку стабілізацію величини мікротвердості для обох зразків, що може служити непрямою характеристикою стабілізації трибологічних процесів, протікаючих у контакті.

Тривалість циклу зміни міцнісних характеристик матеріалу в значній мірі визначається типом мастильного матеріалу і характером динамічного навантаження. Ці фактори в сукупності формують режим мащення та деформування поверхневих шарів і, відповідно, протизносні та антифрикційні властивості трибомеханічної системи. Було встановлено, що на першому етапі тривалість процесів знеміцнення і зміцнення відповідно відстаючого та випереджуючого зразків відрізняється і може коливатись в межах напрацювання  $N_{ц} = 150-400$  циклів. Сюди можна віднести оливи МС-20 (рис. 2), Б-3В, мастило ВНИ-ИНП-286М і т. д.

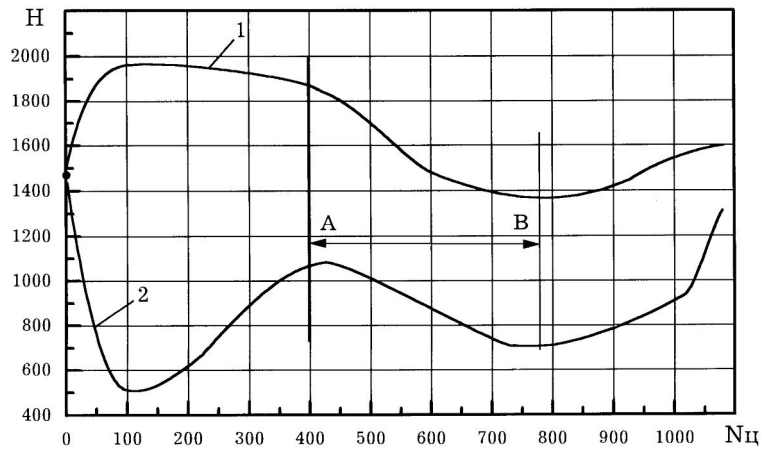


Рис. 1. Кінетика зміни мікротвердості  $H$  в функції напрацювання  $N_{ц}$  для оливи МК-8:  
 1 – випереджаюча поверхня; 2 – відстаюча поверхня

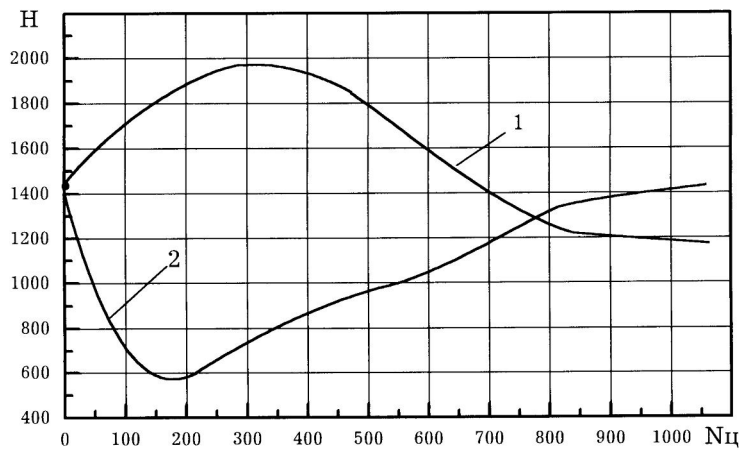


Рис. 2. Кінетика зміни мікротвердості  $H$  в функції напрацювання  $N_{ц}$  для оливи МС-20:  
 1 – випереджаюча поверхня; 2 – відстаюча поверхня

Однак для ряду мастильних матеріалів на першому етапі була встановлена однакова тривалість цих протилежних процесів, яка була рівна, з деяким припущенням,  $N_{ц} = 100$  як для відстаючого, так і для випереджаючого зразків. До цієї групи відносяться: мінеральна олива МК-8, синтетична олива 36/1, мастильна рідина етиленглицоль та інші. Саме ця група оливок, в умовах випробувань, забезпечує незадовільну мастильну дію, що відбилося в збільшенні інтенсивності зношування на певних етапах випробувань. Однакова тривалість періоду зміцнення (випереджаючий зразок) і знеміцнення (просковзуючий зразок) для мастильних матеріалів різних класів свідчить про те, що на першому етапі для цієї групи оливок головний вплив на хід трибологічних процесів чинить не мастильний матеріал, а структурні зміни тонкого поверхневого шару. Це також свідчить про те, що існує певний поріг насичення поверхневого шару деформаційним зміцненням.

На другому етапі в поверхневому шарі протікають, з різною мірою взаємовиключення, два протилежні процеси – знеміцнювання випереджаючого та зміцнювання просковзуючого зразків. Тривалість цього етапу для різних мастильних матеріалів різна та знаходиться в межах:

- $N_{ц} \approx 100$  (ВНИИ НП-286М) –  $N_{ц} \approx 560$  (МК-80) для випереджаючого зразка;
- $N_{ц} \approx 100$  (Пропіленглицоль) –  $N_{ц} \approx 800$  (И-20) для просковзуючого зразка.

Будь-яких закономірностей в зміні тривалості періоду зміцнення–знеміцнення для груп мастильних матеріалів, що досліджувалися, встановлено не було. Однак ряд мастильних матеріалів, що відносяться до різних класів (за фізико-хімічними показниками), на другому етапі продемонстрували єдину тенденцію. Для мастильних матеріалів МК-8, 36/1, етиленглицоль та інших було встановлено, що кінетика зміни міцностних властивостей тонкого поверхневого шару просковзуючого зразка має свої специфічні властивості. Якщо для всіх мастильних матеріалів, що випробовувалися, другий етап характеризувався стійким збільшенням мікротвер-

дості поверхневого шару просковзуючого зразка, то для вказаної групи мастильних матеріалів міцнісні властивості змінюються за схемою: зміцнення – знеміцнення – зміцнення. Наявність такої схеми зміни міцнісних властивостей призвела до якісного співпадіння процесу знеміцнювання поверхневого шару на випереджаючому і просковзуючому зразках (рис. 1, ділянка А–В). Тривалість цього періоду різна для мастильних матеріалів, що досліджуються, та багато в чому визначає темп розвитку трибологічних процесів в зоні контакту. Зокрема, було встановлено, що саме в цей період відбувається різкий стрибок величини питомої роботи тертя, як це показано на рис. 3.

Таблиця 1

Характеристика структурних змін поверхневого шару при різних етапах напрацювання

Тип мастила	Кінематична пара	Структурні зміни	Етап структурної зміни і відповідна кількість циклів напрацювання		
			$N_{ц} - 1$	$N_{ц} - 2$	$N_{ц} - 3$
МК-8	випереджаючий	зміцнення	100	-	250
		знеміцнення	-	660	-
	відстаючий	зміцнення	-	420	300
		знеміцнення	100	380	
МС-20	випереджаючий	зміцнення	300	-	
		знеміцнення	-	600	
	відстаючий	зміцнення	-	750	
		знеміцнення	150		
И-20	випереджаючий	зміцнення	200	-	550
		знеміцнення	-	450	
	відстаючий	зміцнення	-	950	
		знеміцнення	150		
Б-3В	випереджаючий	зміцнення	200	-	200
		знеміцнення	-	700	
	відстаючий	зміцнення	-	700	
		знеміцнення	400		
36/1	випереджаючий	зміцнення	100	-	650
		знеміцнення	-	350	-
	відстаючий	зміцнення	-	200	700
		знеміцнення	100	100	
ВНИИ НП-286М	випереджаючий	зміцнення	300	-	400
		знеміцнення	-	400	
	відстаючий	зміцнення	-	750	
		знеміцнення	350		

Колом виділена ділянка, на якій відбулося якісне співпадіння процесів зміцнення і знеміцнення в поверхневих шарах. Параметр питомої роботи тертя, як видно з рисунку, найбільш адекватно відреагував на характерні трибологічні процеси, що протікають в контакті. Характер зміни питомої роботи тертя, тобто стрибкоподібне її зростання на ділянці одночасного знеміцнення контактних поверхонь і збереження високих абсолютних значень параметра  $E$  ( $10 \cdot 10^4$  Дж/м<sup>2</sup> –  $12 \cdot 10^4$  Дж/м<sup>2</sup>) в процесі напрацювання, свідчить про зменшення ступеню деформаційного зміцнення та збільшення швидкості релаксації пружної енергії, що непрямо вказує на розвиток окрихчування матеріалу поверхневого шару. Максимальне зміцнення в кінці кожного мініетапу і достатнє окрихчування матеріалу виявилось першопрчиною послідуочих глибоких зривів монотонно зростаючої циклічності зміни питомої роботи тертя. Ці зриви характеризують наступні етапи протікання процесів зміцнення і руйнування поверхневих шарів контактних поверхонь.

Експериментально було встановлено різке збільшення інтенсивності зношування контактних поверхонь саме в період якісного співпадіння характеру зміни мікротвердості (рис. 3, відмічено колом) з  $I_h = 1,02 \cdot 10^{-10}$  до  $I_h = 1,21 \cdot 10^{-10}$ . Розвиток окрихчуваності матеріалу в процесі навантаження підтвердив аналіз продуктів зносу, який встановив зростання загального об'єму і тенденцію до дрібнення частинок зносу. На рис. 4 показана зміна змісту механічних домішок в процесі напрацювання для олів МК-8 і 36/1.

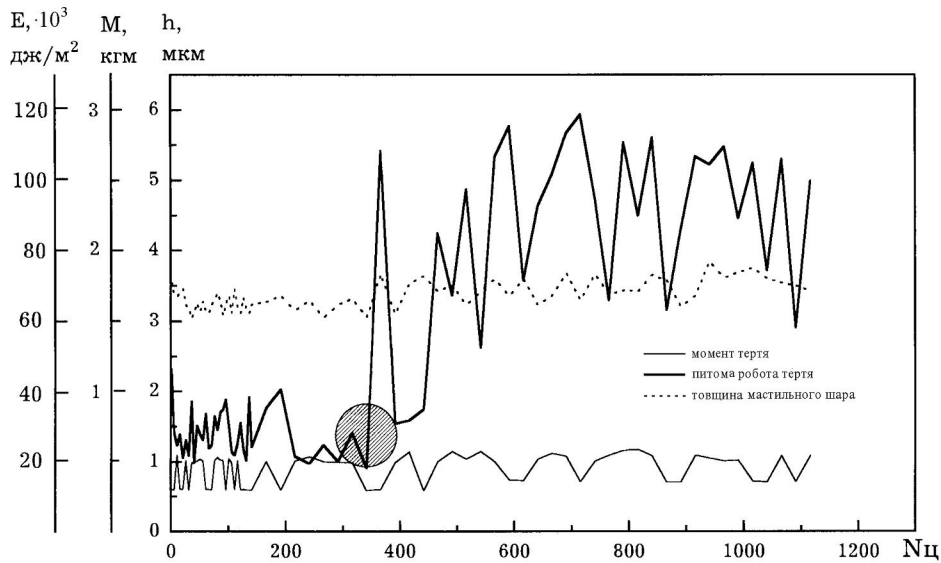


Рис. 3. Зміна питомої роботи тертя  $E$ , моменту тертя  $M$  і товщини мастильного шару  $h$  в функції напрацювання  $N_{ц}$  для оливи МК-8

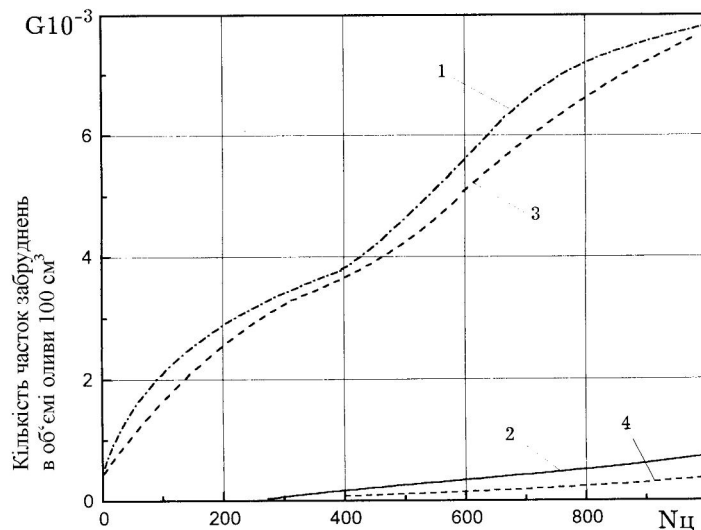


Рис. 4. Кінетика зміни кількості та розмірів механічних домішок в процесі напрацювання: 1, 2 – МК-8; 3, 4 – 36/1; 1, 3 – частки розміром 5–10 мкм; 2, 4 – частки розміром 25–50 мкм

Початковий стан (за кількістю забруднень в 100 см<sup>3</sup> оливи) мастильних матеріалів відповідає 5-му класу чистоти. Проведені дослідження з визначення розмірів і кількості часток зносу показали тенденцію до їхнього дрібнення зі збільшенням часу навантаження. Результати цих досліджень якісно підтверджують кінетичну залежність інтенсивності зношування. Зростання кількості часток зносу розміром 5–10 мкм особливо помітне на ділянці  $N_{ц} = 400–500$ , де й був встановлений якісний стрибок питомої роботи тертя та інших триботехнічних параметрів.

Підбиваючи короткий підсумок, можна сказати, що комплексне дослідження фізичних закономірностей зміни міцнісних властивостей поверхневого шару металу дозволило встановити особливості кінетики зміцнення, знеміцнення та інтенсивності зношування в умовах динамічного навантаження в середовищі мастильних матеріалів різного класу. Встановлено, що зміна міцнісних характеристик поверхневих шарів носить циклічний характер, що має свої особливості для випереджаючої та відстаючої поверхонь.

Це відбивається в циклічному характері зміни триботехнічних параметрів – товщини мастильного шару, моменту тертя, питомої роботи тертя, періодичній зміні інтенсивності зношування. Вперше виявлено ділянки якісного співпадіння процесу знеміцнювання поверхневого шару для випереджаючого та відстаючого зразків і встановлено різке збільшення інтенсивності зношування в цей період.

За загальною картиною результатів можна припустити, що зміцнення поверхонь викликається перетворенням структури в мартенситну. Подальше збільшення ступеня деформаційного зміцнення за рахунок навантаження, що циклічно повторюється, та викликане ним підвищення температури в зоні контакту призводять до розпаду мартенситу, коагуляції карбідних часток і зниженню твердості поверхневого шару. Загальні ефекти, аналогічні встановленим нами, були показані в [3].

Таким чином, наведені результати показують, що механізм деформації тонких поверхневих шарів при контактній взаємодії твердих тіл в умовах динамічного навантаження пов'язаний, в першу чергу, зі специфікою їхньої взаємодії з мастильним середовищем.

Циклічний характер зміни мікронапружень підтверджує відоме положення про те, що при фрикційній взаємодії твердих тіл природа руйнування поверхневих шарів металу носить утомний характер.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Рыбакова Л.Н., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. – М.: Машиностроение, 1982. – 212 с.
2. Щукин Е.Д. Понижение поверхностной энергии и изменение механических свойств твердых тел под влиянием окружающей среды // Физико-химическая механика материалов. – 1976. – № 1. – 3 с.
3. Uetz H., Fohl I. Pruftechnik bei einem Verschleissystem auf Grund der Verschleissanalyse, ins besondere der thermischen Analyse, VDI-Berichte, № 194, 57, 1973.

ДМИТРИЧЕНКО Микола Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології ремонту, виробництва літальних апаратів та авіаційного матеріалознавства Київського національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:  
– триботехніка.

КАРПЕНКО Любов Федорівна – інженер, замісник директора науково-технічного центру "Триботехніка" НАН України.

Наукові інтереси:  
– триботехніка.

МНАЦАКАНОВ Рудольф Георгійович – доктор технічних наук, професор кафедри технології ремонту, виробництва літальних апаратів та авіаційного матеріалознавства Київського національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:  
– триботехніка.

НОСАЧОВ Олексій Петрович – інженер кафедри технології ремонту, виробництва літальних апаратів та авіаційного матеріалознавства Київського національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:  
– триботехніка.

Подано 06.10.2000