УДК 621.891

К 413.1

[1]**Р.Г. Мнацаканов,** д-р техн. наук
[2]**В.О. Довбуш**
[3]**О.Є. Якобчук**
[4]**О.О. Микосянчик**

МАСТИЛЬНА ДІЯ ПЛАСТИЧНИХ І НАПІВРІДКИХ МАСТИЛ

[1,2,3] Аерокосмічний інститут НАУ, e-mail: dovbush@i.com.ua
[4]Завод технічних масел "Аріан", e-mail: arian@compuserv.com.ua

Розглянуто результати випробовування пластичних і напіврідких мастил та зміну триботехнічних характеристик. Проаналізовано зміну товщини мастильного шару, моменту тертя та частоти обертання в процесі напрацювання для випробовуваних мастил.

Вступ

Дослідженню пускових зношувань контактних поверхонь присвячено багато праць [1]. Однак дотепер немає повної ясності в питанні про механізм мастильної дії в таких умовах, у той час як від цього залежить розробка заходів щодо зменшення пускових зношувань.

Установлено, що підвищення ефективності мастильної дії масел є основним чинником зниження пускових зношувань [2].

Істотним недоліком робіт, присвячених дослідженню мастильної дії в період пуску, є те, що в них не зачіпаються питання формування і кінетики зміни товщини мастильного шару безпосередньо в процесі пуску, що впливають на ефективність мастильної дії.

Дослідженнями доведено, що опір зрушенню поверхонь, покритих адсорбційними мастильними плівками, не залежить від питомих навантажень між поверхнями тертя, температури і швидкості ковзання [3].

Постановка задачі

Для вивчення особливостей механізму мастильної дії в умовах динамічного навантаження була поставлена задача встановлення особливостей механізму мастильної дії для масел, що відносяться до різних груп мастильних матеріалів.

Зміна динамічної характеристики мастильної дії

Відсутність надійних методів оцінки ступеня адсорбційної активності та її залежності від стану і природи поверхонь тертя виключає якісний облік зовнішнього тертя (підвищення ефективності мастильної дії введенням поверхневоактивних речовин). Ті самі мастильні матеріали поводяться по-різному в умовах зміни навантаження і швидкостей ковзання в контакті тертя.

Отже, облік зовнішнього тертя між контактними поверхнями за теорією граничного тертя зводиться до встановлення ступеня адсорбційної (фізико-хімічної) активності змащення і природи поверхонь сполучених деталей.

У табл. 1 наведено масив експериментальних даних на прикладі мастила ВНИИНП-286М, які відбивають динаміку трибологічних процесів у контакті при пуску та є характерними для випробуваних пластичних і напіврідких мастил.

Таблиця 1

Зміна триботехнічних характеристик для мастила ВНИИНП-286М

$N_{ет.ц}$	h_{min}, мкм	M, кг·м	Δt_{end}, с	n_{min}, об/хв	m_a, кг м
41	0,3976	0,3086	0,1474	38,0	1,1390
46	0,0259	0,3066	0,1742	14,0	0,8710
51	0,2424	0,3066	0,1876	23,0	1,0050
56	0,0165	0,3066	0,1876	–	0,4690

Примітка. $N_{ет.ц}$ – еталонна кількість циклів; h_{min} – мінімальна товщина мастильного шару при зрушенні; M – момент тертя; Δt_{end} – час зміни моменту тертя від мінімального до сталого значення; n_{min} – мінімальне значення частоти обертання; m_a – аномальна зміна моменту тертя при зрушенні.

Аномальна зміна товщини мастильного шару призводить до короткочасного закиду обертів (приблизно в 18–20 разів), тобто в момент розриву мастильного шару і металевого контакту виявляються ті самі тенденції, що характерні для мінеральних і синтетичних масел.

Параметр m_a у міру напрацювання зменшується аналогічно тому, як це відбувається для мінеральних і синтетичних масел (рис. 1).

Виняток становить мастило Shell Alvania EP-2, для якого параметр m_a після певного спаду починає зростати.

Аналогічна картина спостерігалася і для мінерального масла МС-20.

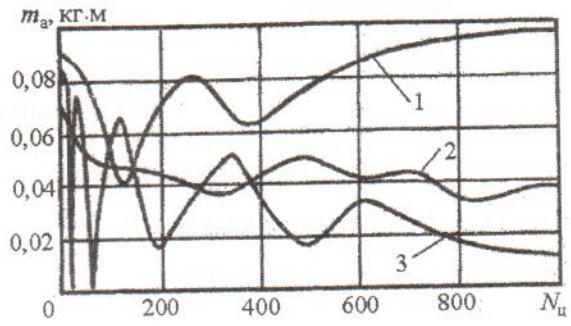

Рис. 1. Кінетика зміни параметра m_a у функції напрацювання $N_ц$ для пластичних і напіврідких мастил:
1 – Shell Alvania EP-2; *2* – Трансол-200Б;
3 – ВНИИНП-286М

При використанні пластичного мастила ВНИИНП-286М на першому етапі роботи ($N_ц$<100, де $N_ц$ – кількість циклів) параметр m_a зменшився до значень, близьких до нульового.

Застосування напіврідкого мастила Трансол-200Б показало проміжне значення параметра m_a як за величиною, так і за кінетикою зміни.

Мастильна здатність, якщо її характеризувати з позиції параметра m_a, у мастил ВНИИНП-286М і Трансол-200Б приблизно така ж, як у синтетичних масел.

Краща динаміка параметра m_a відповідає мастилу Shell Alvania EP-2 і маслу МС-20.

Кінетика зміни динамічної характеристики моменту тертя t_{end} для мастил аналогічна синтетичним маслам.

Тут також проглядається тенденція до деякого збільшення параметра t_{end} у міру напрацювання.

Для пластичних мастил, як і для синтетичних і мінеральних масел, установлена кореляція між параметром t_{end} і питомою роботою тертя E.

Аналіз зміни динамічних характеристик мастильної дії

Зміна динамічної характеристики ефективності мастильної дії часу від початку пуску до встановлення стабілізації моменту тертя $t_{вст}$ для пластичних і напіврідких мастил має такий самий характер, як і для синтетичних масел та відмінна від аналогічних змін для мінеральних масел. На рис. 2 і в табл. 2 наведено результати зміни параметрів $t_{вст}$, t_{end} і E протягом напрацювання для мастила ВНИИНП-286М при зрушенні в процесі пуску.

Аналіз графічного і розрахунково-експериментального матеріалів показує, що зміна E викликає адекватну зміну параметра $t_{вст}$.

Аналогічний взаємозв'язок відзначався і для синтетичного масла 36/1.

Таблиця 2

Зміна експериментальних і розрахункових характеристик мастильного процесу для стабілізованого режиму

$N_{ет.ц}$	M_{max}, кг·м	$M_{вст}$, кг·м	h, мкм	n, об/хв	t, с	E, Дж/м^2
2	0,163	0,163	1,78	99,0	0,20	119224
6	0,207	0,207	1,81	107,0	0,20	123877
11	0,200	0,200	1,80	104,0	0,20	120821
16	0,196	0,196	1,80	109,0	0,20	130130
21	0,206	0,206	1,79	108,0	0,34	127260

Примітка. M_{max} – максимальне значення моменту тертя; $M_{вст}$ – момент тертя, що відповідає стабілізації триботехнічних параметрів; h, n – товщина мастильного шару і частота обертання при сталому значенні моменту тертя за цикл; t – час досягнення за період пуску сталого значення товщини мастильного шару

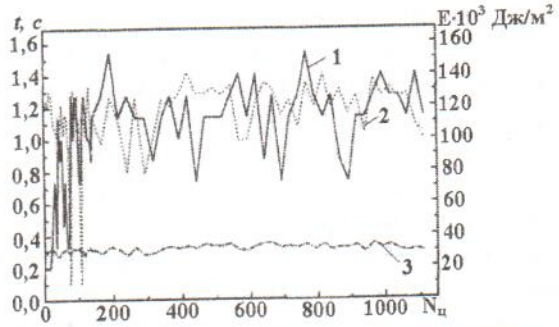

Рис. 2. Зміна питомої роботи тертя E та динамічних характеристик $t_{вст}$ і t_{end} для мастила ВНИИНП-286М:
1 – $t_{вст}$; *2* – E; *3* – t_{end}

Параметр $t_{вст}$ для пластичних і напіврідких мастил має тенденцію різкого зростання на ранній стадії напрацювання ($N_ц$ < 100) з наступною стабілізацією. Параметр $t_{вст}$ уже при напрацюванні $N_ц$ = 51 досягає значення 1,0 для мастила ВНИИНП-286М ($t_{вст}$ = 0,2 с при $N_ц$ = 2).

Це свідчить про добру здатність мастильного матеріалу формувати мастильні шари гідродинамічного походження. З усіх досліджуваних мастильних матеріалів – це кращий результат по параметру $t_{вст}$.

Усі досліджувані пластичні мастила показали добрі динамічні характеристики ефективності мастильної дії, що пов'язано насамперед з особливостями реологічного стану і характером надходження мастила в зону контакту [2; 3].

На рис. 3 показано зміну триботехнічних параметрів на початку і наприкінці напрацювання для мастила ВНИИНП-286М.

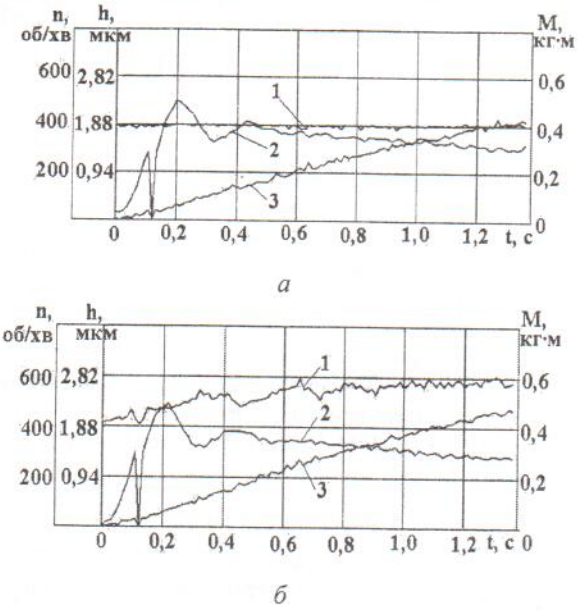

Рис. 3. Зміна товщини мастильного шару h, моменту тертя M і частоти обертання n за цикл для мастила ВНИИНП-286М ($N_ц = 1066$):
а – $N_ц = 6$; *б* – *1* – n; *2* – M; *3* – h

У початковій стадії випробувань товщина мастильного шару практично не реагує на зміну частоти обертання, тобто параметр $t_{вст} \rightarrow \min$. У разі зрушення відзначаються розриви мастильного шару, що не призводять, однак, до металевого контакту. Саме в цей період було зафіксовано різке зменшення параметра m_a, що мало коливальний характер. Це призвело до росту, хоча і не настільки інтенсивного, питомої роботи тертя E.

У початковий період іспитів при зрушенні руйнування мастильного шару не призводило до металевого контакту між поверхнями. Таке явище характерне для всіх випробуваних мастильних матеріалів цього класу, що свідчить про здатність пластичних і напіврідких мастил досить швидко адаптуватися до важких умов динамічного навантаження і формувати на контактних поверхнях більш міцну, у порівнянні з адсорбційної, мастильну структуру. До кінця напрацювання розриви мастильного шару відсутні, і поділ поверхонь має стійкий характер. Усі мастила, що випробувалися, показали збільшення параметра E при збільшенні параметра $t_{вст}$. Товщина мастильного шару до кінця випробувань зросла в порівнянні з початково зафіксованим значенням ($N_ц = 2$) на 75,5 %. Ця величина є середньою для мастил, що випробувалися, і кращою в порівнянні з групами мінеральних і синтетичних мастильних матеріалів.

На рис. 4 показана кінетика зміни режиму змащення λ у процесі напрацювання для мастил, що випробувалися.

Хоча режим змащення зберігається переважно напівсухий, однак якщо зіставити зміну λ для мінеральних і синтетичних масел, то очевидним стає велика ефективність мастильної дії мастил. Значення режиму змащення λ найвищі, тобто значення h_{min}, зафіксовані в експерименті, найбільші. Характер розташування кривих зміни λ відповідає характеру розташування кривих зміни параметра (характеристики аномальної зміни моменту тертя m_a), показаних на рис. 1. Цей факт свідчить про нерозривність процесів, що відбуваються в тонкому поверхневому шарі і мастильних структурах, адсорбованих (хемосорбованих) на металевій поверхні.

Зміна параметра E добре корелює зі змінами режиму змащення λ для всіх випробуваних пластичних і напіврідких мастил – найбільше значення E відповідає мастилу ВНИИНП-286М, найменше – Shell Alvania EP-2.

У деяких випадках під час зрушення контактних поверхонь відбувається зрив мастильного шару, що не призводить однак до металевого контакту поверхонь. У цей момент, обчислювальний сотими частками секунди, незначно збільшується ефективна в'язкість $\eta_{еф}$ у середньому на 15–18 %.

Подібне збільшення $\eta_{еф}$, наприклад, для мінеральних масел МК-8 становить 250–300 %, для масел МС-20 – 150–200 %. Для синтетичних масел збільшення ефективної в'язкості $\eta_{еф}$ приблизно таке саме, як і для мастил.

Загальна тенденція зміни ефективної в'язкості $\eta_{еф}$ у міру напрацювання така сама, як і для мастильних матеріалів, що випробувалися раніше, ефективна в'язкість $\eta_{еф}$ збільшується до кінця випробувань приблизно в два рази.

Для порівняння ефективна в'язкість $\eta_{еф}$ для масла МК-8 збільшилася в два рази, для масла МС-20 – у три рази. Для масла И-20 і масла 36/1 не було встановлено помітного збільшення ефективної в'язкості $\eta_{еф}$.

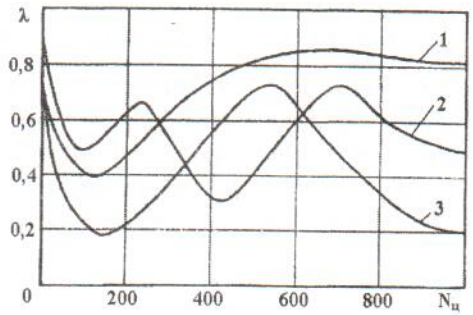

Рис. 4. Кінетика зміни режиму змащення λ при аномальній зміні товщини мастильного шару у функції напрацювання $N_ц$:
1 – Shell Alvania EP-2; *2* – Трансол-200Б;
3 – ВНИИНП-286М

У момент зриву мастильного шару τ_i у середньому зростає на 15–18 % (з 1135 до 1320 кг/см^2), тоді як у мінеральних масел – на 100 % (з τ_i = 1019 кг/см^2 до τ_i = 2136 кг/см^2).

Менше значення τ_i для пластичних і напіврідких мастил свідчить про те, що ці мастильні матеріали здатні утворювати мастильні шари, що володіють кращими антифрикційними властивостями, в умовах динамічного навантаження. Це також указує на те, що природа мастильного шару, утвореного мастилами, істотно відрізняється від природи мастильного шару, утвореного маслом МК-8.

Висновки

При розвитку такого аномального процесу, як зрив мастильного шару, градієнт швидкості зрушення γ для змащень зменшується приблизно на 30 % (для мастила ВНИИНП-286М з γ=0,029 с$^{-1}$ до γ=0,022 с$^{-1}$). Зворотна картина спостерігається для мастильних матеріалів інших класів.

Наприклад, у момент металевого контакту γ для масла МК-8 зростає в середньому на 30 % (з γ = 0,006 с$^{-1}$ до γ = 0,008 с$^{-1}$). До кінця випробувань це збільшення в порівнянні з γ початкових циклів для масла МК-8 становило: 85 %, для масла МС-20 – 35 %, для масла И-20А – 60%, для масла 36/1 – 25 %. Усі випробувані мастила, показали значне зменшення градієнта швидкості зрушення до кінця напрацювання (приблизно на 40 %). Повна інверсія властивостей свідчить про різну структуру мастильної дії в умовах динамічного навантаження.

Отримані залежності τ_i (γ) для пластичних і напіврідких мастил (рис. 5) мають нелінійний характер.

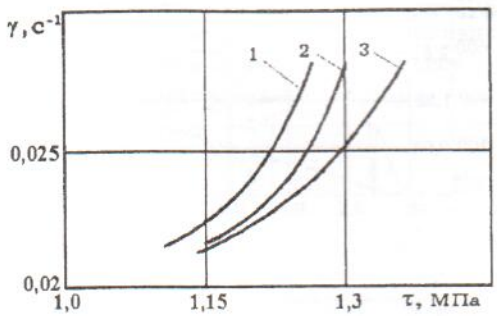

Рис. 5. Залежність середніх дотичних напружень τ_i від градієнта швидкості зрушення γ:
1 – ВНИИНП-286М; *2* – Трансол-200Б; *3* – Shell Alvania EP-2

Динамічні характеристики процесу тертя при пуску визначають здатність трибомеханічної системи до стабілізації трибологічних процесів, які відбуваються в контакті. Інформаційна значущість цих параметрів визначає їх чутливість до питомої роботи тертя.

Список літератури

1. *Смазочные* материалы: Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: Справ. /Р.М. Матвеевский, В.Л. Лашхи, И.А. Буяновский и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.

2. *Райко Н.В., Головач П.А., Дмитриченко Н.Ф., Мнацаканов Р.Г.* Некоторые особенности смазки пластичными смазочными материалами // Вестн. машиностроения. – 1984. – №1. – С. 28–30.

3. *Райко М.В., Дмитриченко Н.Ф., Мнацаканов Р.Г., Мельник В.Б.* Смазочное действие пластичных и полужидких смазок при неустановившихся условиях трения // Всесоюз. НТК по применению пластичных смазок. – Бердянск: БМЗ, 1985. – С. 39.

Стаття надійшла до редакції 03.04.03.

Р.Г. Мнацаканов, В.А. Довбуш, А.Е. Якобчук, О.А. Микосянчик

Смазочное действие пластических и полужидких смазок

Рассмотрены результаты испытания пластических и полужидких смазок и изменения триботехнических характеристик. Проанализированы изменения толщины смазочного слоя, момента трения и частоты вращения в процессе наработки для испытуемых смазочных масел.

R.G. Mnatsakanov, V.A. Dovbush, A.E. Yakobchuk, O.A. Mikosanchik

Lubricant operation plastic and semifluid lubrication

In operation the trials plastic and semi-fluid of lubricant oils are carried out and the change tribotechnical characteristics is submitted, the change of width of a lubricant stratum, friction torque and rotational speed is analysed during an operating time for lubricant oils, which were tested.