

УДК 621.891

І.Шевеля, канд. техн. наук

Київський міжнародний університет цивільної авіації

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СТІЙКОСТІ ГРАНИЧНИХ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ШАРІВ ВІД РЕЛАКСАЦІЙНИХ ЯВИЩ

Розглянуто вплив температури на коефіцієнт тертя різних пар у мастилi з домішками поверхнево-активних і хімічно-активних речовин. Показано, що аномальне зростання коефіцієнта тертя в середовищі поверхнево-активних речовин та його різке зниження у середовищі хімічно-активних речовин мають однакову першооснову, пов'язану з реологічними властивостями сталі та трибологічно виявляються подвійно. Доведено, що релаксація Спюка-Кестера при відповідній температурі динамічного навантаження сталі в умовах зовнішнього тертя підсилює пластифікуючий ефект при адсорбції на поверхні тертя поверхнево-активних речовин та підвищує реакційну спроможність металу до взаємодії з домішками хімічно-активних речовин.

Одним з важливих факторів, що контролюють працездатність трибосистеми, є температурна стійкість граничних змащувальних шарів [1, 2], що характеризується так званою критичною температурою, при якій різко збільшується коефіцієнт тертя. Є інша риса - температура хімічної модифікації - при якій, навпаки, коефіцієнт тертя різко зменшується. Критична температура служить характеристикою температурної стійкості всіх мастил, у тому числі, тих, що мають присадки поверхнево-активних речовин (ПАР) або хімічно-активних речовин (ХАР), а температура хімічної модифікації є характеристикою мастил з присадками ХАР.

Вважається [1], що при досягненні критичної температури відбувається дезорієнтація молекул мастила у граничному шарі та їхня десорбція, внаслідок чого граничний шар втрачає спроможність розділювати поверхні тертя. При досягненні температури хімічної модифікації внаслідок розкладання хімічно-активної домішки у мастилi та хімічної реакції з металом утворюється шар типу твердої змазки, що полегшує умови тертя.

Характерною є відсутність функціонального зв'язку між названими характерними температурами та традиційними фізико-хімічними властивостями мінеральних та синтетичних мастил (в'язкість, молекулярна маса, температура спалаху

та ін.). У той же час простежується певний зв'язок між згаданими температурами та реологічними властивостями контактних матеріалів, зокрема, з внутрішнім тертям, обумовленим неспружними явищами та спроможністю твердого тіла розсіювати механічну енергію, що підводиться при дії динамічного навантаження, перетворюючи її на тепло. Одним з найпотужніших факторів, що впливають на реологічну поведінку металів, є температура.

На рис. 1 а,б подані приклади впливу температури на коефіцієнт тертя різних пар тертя у мастилі з домішкою ПАР (рис. 1а) та з домішкою ХАР (рис. 1б) [3-5]. Під час тертя однієїменних сплавів з домішкою ПАР критична температура, як правило, становить майже 100 °С. Проте при введенні у пару тертя сталі (мідь-сталь, сталь-сталь) критична температура зміщується до 200 °С, і в діапазоні 200...300 °С реєструються аномально високі значення коефіцієнта тертя (рис. 1а). При терті у мастилах з домішками ХАР (рис. 1б) температура хімічної модифікації наближена до критичної для пар тертя з участю сталі (200 °С), проте в діапазоні 200...300 °С, навпаки, різко знижується коефіцієнт тертя. Можна припустити, що аномальне зростання коефіцієнта тертя в середовищі ПАР в одному температурному діапазоні та його різке зниження в

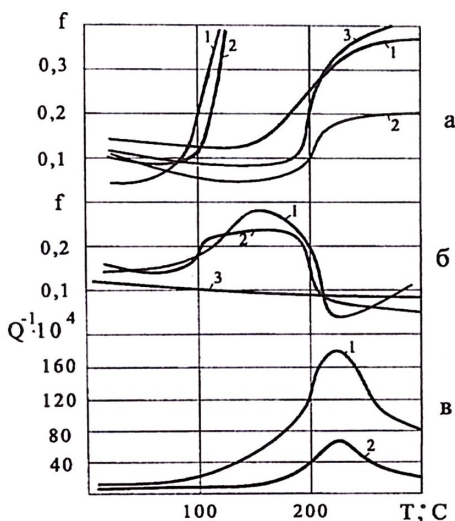


Рис. 1 Температурні залежності: коефіцієнта тертя в середовищі з ПАР (а), в середовищі з ХАР (б) та внутрішнього тертя сталей (в): а - пара тертя латунь-латунь (1) та мідь-мідь (2) в середовищі масла Д-1+0,1% стеаринової кислоти; латунь-сталь ШХ-15 (1), мідь-сталь ШХ-15 (2), ШХ-15-ШХ-15 (3) в середовищі Д-1+0,1% стеаринової кислоти; б - пари тертя ШХ-15-ШХ-15 в середовищі Д-1+1,5% хлорпарафіну (1') та сульфолу (2'), ШХ-6-ШХ-6 (3) в середовищі Д-1+3% хлорпарафіну та сульфолу разом; в - внутрішнє тертя сталей ШХ-15(1) та ШХ-6 (2)

середовищі з ХАР мають однакову першооснову, пов'язану з реологічними властивостями сталі та трибологічно виявляються двояко. Беручи до уваги реологію контактної взаємодії з урахуванням температурно-швидкісних умов тертя можна контролювати закономірності, що виявляються [6].

Відомо, що під час періодичної деформації твердого тіла у ньому порушується термодинамічна рівновага і при певних температурах та частоті навантаження виникають релаксацийні процеси, що призводять до відставання деформації від напруження, внаслідок чого значна частина механічної енергії, що підводиться, в точках фізичного контакту незворотно розсіюється у вигляді тепла. Так, релаксация Снука-Кестера (С-К релаксация), що виникає у сталях в районі температур 200...300 °С, формує пік внутрішнього тертя, що зв'язаний як з пластичною деформацією, так і з присутністю атомів вуглецю та азоту (рис. 1в).

Виникнення вказаного піку внутрішнього тертя зумовлене утворенням атмосфер атомів упродовження (С+N) навколо дислокацій, наведених деформацією. Така атмосфера перешкоджає вигинанню відрізка дислокації доти, доки атоми упродовження спроможні мігрувати разом з дислокацією, викликаючи неспружність. Релаксация також може бути зв'язана з переорієнтацією атомів проникнення у силовому полі дислокацій під впливом утворених напруг [7, 8]. Висота піка зростає з підвищенням температури

гартування сталі, деформації, температури деформації та концентрації атомів упровадження. До того ж із зростанням рівня деформації температура піка може знижуватися до 170...180 °С. При введенні в сталь легувальних елементів (хром, вольфрам та ін.) пік внутрішнього тертя збільшується до більш високих температур [8].

Релаксація є самопідлагоджування системи у часі до нового рівноважного стану як реакція на зміну зовнішнього параметра [9]. Якщо зовнішнім параметром, що змінюється, є напруження, то встановлення у часі рівноважного значення спряженої змінної - деформації виявляється як непружна (механічна) релаксація. Тоді відбувається підлагодження до рівноважного значення першого внутрішнього параметра, через який посередньо зв'язуються напруження та деформація. Релаксація вказаного внутрішнього параметра до рівноважного значення звичайно супроводжується процесами перенесення. Коли, наприклад, внутрішній параметр характеризує ступінь впорядкованості сплаву, то непружність обумовлена міграцією атомів. Іншими словами, непружна релаксація є термодинамічною властивістю, зумовленою зв'язком напруження та деформації з параметрами, які можуть зменшуватися внаслідок кінетичних процесів (наприклад, дифузії).

Зсувні напруження при температурі, меншій від 150 °С, тобто нижчій від температури піка, не викликають ефективного руху дислокацій, оскільки атоми упровадження, що закріплюють їх, нерухомі. При температурі, вищій від температури піка, дислокація та домішки, що закріплюють її, зсуваються за фазою з напруженням, що прикладається. В обох випадках внеску в непружне загасання не буде. Лише при температурі, що відповідає пікові внутрішнього тертя (С-К релаксація), домішккові атоми відсіюють від дислокацій, зумовлюючи непружність (механічну релаксацію).

Відомо, що розчини ПАР пластифікують мета при його деформуванні металів (ефект Ребіндера), механізм якого полягає в полегшенні виходу дислокацій на поверхню та в активізації зародження і генерації підповерхневих джерел дислокацій внаслідок зниження вільної поверхневої енергії [10]. Ефективність виявлення вказаних процесів залежить від температурно-швидкісних умов деформації. Очевидно, релаксація Снука-Кестера різко підсилює пластифікаційний ефект за рахунок

збільшення рухливості дислокацій на момент їхнього звільнення від домішок атмосфери. Тоді полегшується робота джерел та зростає щільність дислокацій. Збільшення пластичності поверхневого шару сталі виявляється в аномальному зростанні коефіцієнта тертя. Можлива й зворотна дія: внаслідок зниження поверхневого потенційного бар'єру при адсорбції молекули ПАР та зростанні щільності дислокацій посилюються непружні явища, внаслідок яких механічна енергія, що підводиться при зовнішньому терті, перетворюється на теплоту. З іншого боку, при виникненні С-К релаксації зростає реакційна здатність металу за рахунок зростання самодифузії та дифузійної рухливості атомів провикнення. І якщо у

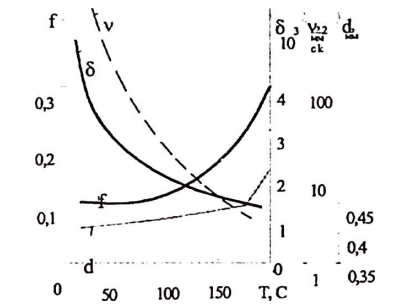


Рис. 2 Температурні залежності коефіцієнта тертя (f), діаметра плями зношування (d), внутрішнього тертя (δ) та кінематичної в'язкості (ν) для масла МС-20

мастилі є домішки ХАР, посилюється хімічна взаємодія металу з компонентами розкладу домішки за участю розчиненого кисню, і поверхня сталі інтенсивно вкривається захисними плівками - продуктами хімічної реакції, які знижують втрати на зовнішнє тертя. В умовах, коли реалізується С-К релаксація, в металевій підкладці мінімізується динамічне напруження, що сприяє збереженню продуктів хімічної реакції в зоні тертя, а сама трибохімічна реакція є додатковим ефективним фактором дисипації

енергії, що сприяє релаксації контактних напружень. Співставивши рис. 1б (крива 1) та рис. 1а (крива 2), можна побачити, що зі зменшенням висоти піку внутрішнього тертя (сталь ШХ-6) знижується й ефективність хімічної модифікації поверхонь тертя.

Таким чином, С-К релаксація при відповідній температурі динамічного навантаження сталі в умовах зовнішнього тертя посилює пластифікаційний ефект при адсорбції на поверхні тертя ПАР та підвищує реакційну спроможність металу до взаємодії з домішками ХАР. З точки зору трибології вказані явища виявляються по-різному залежно від природи активних домішок.

Динамічне напруження контактної взаємодії пов'язане також і з реологічними властивостями мастил. Передбачається, наприклад, що температурна залежність антифрикційності мастил матиме кореляцію з температурною залежністю демпфіраційних властивостей мастил. Справді, така тенденція простежується (рис. 2): з підвищенням температури у зоні граничного тертя зношування та коефіцієнт тертя зростають у 3-4 рази, що відповідає такому ж зниженню демпфіраційних властивостей мастила МС-20 і неадекватне двохсоткратному зниженню її в'язкості. Температурна залежність демпфіраційної спроможності мастила визначалася методом резонансного стрижня [11]. Матеріалом його є дюралюміній, внутрішнє тертя якого практично не змінювалося в температурному діапазоні, що розглядався, а демпфером була плівка мастила, сформована силами поверхневого натягу у зазорі між вібраційним стрижнем та поверхнею нагрівного елемента.

The temperature influence on the friction coefficient of different friction couples in oil with adding of surface-active agents and chemical-active agents is considered. It's shown that anomalous friction coefficient rising in the medium of surface-active agents and its sharp decreasing in the medium of chemical-active agents have the same fundamental principle, connected with rheological properties of steel and tribologically get exposed binary. Proved that Snuk-Kester relaxation under definite temperature of dynamic steel loading in conditions of external friction enhances the plasticization effect under adsorption of surface-active agents on the friction surface and increases metal reaction capability to interact with chemical-active agents.

Література

1. Матвеевский Р.М. Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов. - М.: Наука, 1971. - 228 с.
2. Справочник по триботехнике: -Т.2/ Под ред. А.О. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 1990. - 416 с.
3. Матвеевский Р.М., Буяновский И.А., Лазовская О.В. Исследование температурных пределов защитных свойств смазочных слоев при трении // Износостойкость. - М.: Наука, 1975. - С. 51-74.
4. Санин П.И., Шепелева Е.С. и др. Химическая модификация поверхностного трения // Новое о смазочных материалах. - М.: Химия, 1967. - С. 60.
5. Буяновский И.А. К исследованию второй переходной температуры при трении в режиме граничной смазки // Исследование смазочных материалов при трении. - М.: Наука, 1981. - С. 27 - 33.
6. Шевеля В.В. Реология износостойкости и совместимости пар трения // Трение и износ, 1993. - Т. 14. - С. 48-62.
7. Криштал А.М., Головин С.А. Внутреннее трение и структура металлов. - М.: Металлургия, 1976. - 376 с.
8. Головин С.А., Пушкар А., Левин Д.М. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов. - М.: Металлургия, 1987. - 190 с.
9. Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах. - М.: Атомиздат, 1975. - 470 с.
10. Лихтман В.И., Шукин Е.А., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика металлов. - М., 1962. - 302 с.
11. Жаров Ю.Д., Трохян Ю.А., Васильев А.А. Релаксационные явления в металлах и сплавах. - М.: Наука, 1963. - С. 221-225.

Статтю подав до друку докт. техн. наук, проф. П.Д.Стуляк