

1. Дьяконов В. П. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов. — СПб. : Питер, 2001. — 480 с. : ил.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6®. Основы применения. Серия “Библиотека профессионала” / В. П. Дьяконов. — М. : СОЛОН-Пресс, 2005. — 800 с. : ил.
3. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. — М. : Горячая линия — Телеком, 2007. — 288 с.
4. Romanuke V. V. Adjusting the neuron transfer function with symmetric kernel matrix game / V. V. Romanuke // V International Conference on Optoelectronic Information Technologies “Photonics — ODS 2010”, September 28 — 30, 2010, Vinnytsya : abstracts. — Vinnytsya : VNTU, 2010. — P. 61.
5. Романюк В. В. Мінімаксний підхід у реалізації стохастичного параметра з невідомим імовірнісним розподілом на інтервалі ненульової міри / В. В. Романюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2010. — № 3. — С. 65 — 71.
6. Романюк В. В. Оцінювання вірогідності розподілу статистичних частот випадкової величини з невідомим математичним сподіванням і дисперсією / В. В. Романюк // Вісник НТУ “ХПІ”. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. — Харків : НТУ “ХПІ”, 2010. — № 21. — С. 152 — 161.

Надійшла 2.11.2010 р.

УДК 620.19: 629.33

Ю.І. ШАЛАПКО, А.Л. ГАНЗЮК, М.А. РАЗУВАЄВА
Хмельницький національний університет

ПРИХОВАНІСТЬ ФРЕТТИНГ-ПРОЦЕСІВ У З’ЄДНАННЯХ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Явище фретингу як одне з специфічних контактних видів взаємодії досліджується вже друге сторіччя. Найбільш інтенсивно це відбувається останні 20-30 років і пов’язано не стільки з проблемою зношування вузлів тертя, а з небезпекою раптового виходу з ладу номінально-нерухомих з’єднань. Експлуатація автомобільної техніки з точки зору надійності вузлів кріплення та фретинг-процесів відрізняється певними особливостями: нестационарністю динамічних навантажень та впливом агресивного середовища. Саме нестационарність навантаження призводить до раптового руйнування вузлів нерухомого спряження, а прихованість довготривалої дії від фретингу не дає можливості передбачити аварійну ситуацію.

The phenomenon of fretting, as one of the specific kinds of contact interaction study is the second century. The most intense is the case the last 20-30 years is due, not so much the problem of wear of friction units, and the danger of sudden failure of the nominally-fixed connections. Operation of vehicles in terms of reliability of components and fasteners fretting process is different specific features: dynamic loads and nonstationary environments. This nonstationary loading leads to sudden destruction of real coupling units and long-term action of secrecy prevents fretting include emergency.

Ключові слова: фретинг, надійність, номінально-нерухоме з’єднання.

Вступ

Сучасний розвиток наукоємності техніки вимагає більш уважного ставлення до трибологічних проблем, пов’язаних з контактними мікропереміщеннями, які виникають у номінально-нерухомих з’єднаннях при динамічному та вібраційному навантаженні механічного вузла. Приклади пошкоджень від фретинг-корозії та фретинг-втоми зустрічаються у багатьох дослідженнях цієї трибологічної проблеми. Наведемо результати звіту державної комісії з розслідування найбільш масштабної за останні часи аварії Саяно-Шушенської ГЕС у 2009 році [1]. З акту технічного розслідування Ростехнадзору слідує, що під час перехідних гідродинамічних процесів, пульсації тиску у проточному тракті й підвищеної вібрації виникли втомні тріщини біля місць контактування деталей кріплення гідроагрегату, в тому числі кришки турбіни. Це викликало руйнування шпильок, зрив кришки турбіни й розгерметизацію водопідводного тракту гідроагрегату.

Особливості сил тертя при вібраційному навантаженні нерухомих з’єднань

Розглянемо специфіку фретинг-процесів у малоамплітудній області відносних мікропереміщень. Саме амплітуда у 5-20 мкм практично не дає можливості об’єктивно оцінити передруйнівний стан з’єднання: відсутні стуки, удари, скрипіння, видиме розшатування, підвищена вібрація. В умовах малоамплітудного фретингу швидкість мікропроковзування є дуже малою, навіть за великих частот коливань. Так, при гармонічному законі коливань двох поверхонь з частотою 100 Гц й амплітудою відносних мікропереміщень 10 мкм максимальна швидкість проковзування дорівнює 3.14 мм/с. А для імпульсних коливань у формі трикутника швидкість з такою ж амплітудою буде 2 мм/с. Такі малі відносні швидкості разом з малими мікропереміщеннями мають принципові особливості, які впливають на загальну картину фретинг-процесів у номінально-нерухомому контакті. Для розуміння природи латентного (прихованого) фретингу, умов його ініціювання та подальшої еволюції контакту необхідно врахувати наступні ключові моменти:

- залежність тертя від відносної швидкості;
- ефект пам'яті при терті або часове запізнення критичної амплітуди проковзування;
- невизначеність або багатозначність сил тертя при нульовій відносній швидкості;
- час перебування контакту в умовах статичного тертя – попереднє зміщення поверхонь.

Особливу увагу необхідно приділяти функції сили тертя, отже саме вона є рушійною силою всіх динамічних та фрикційних явищ. Класичні моделі тертя [2,3] складаються із функціональних залежностей різних параметрів, кожен з яких описує відповідні аспекти сили тертя. Головні тези полягають у тому, що будь-якому руху опирається сила тертя і її величина не залежить від швидкості й площі контакту. Це можна описати простим виразом $Q = Q_C \text{sign}(\vartheta)$, де сила тертя Q пропорційна нормальному навантаженню P :

$Q_C = \mu \cdot P$. Наведено основні моделі статичного тертя (рис. 1).

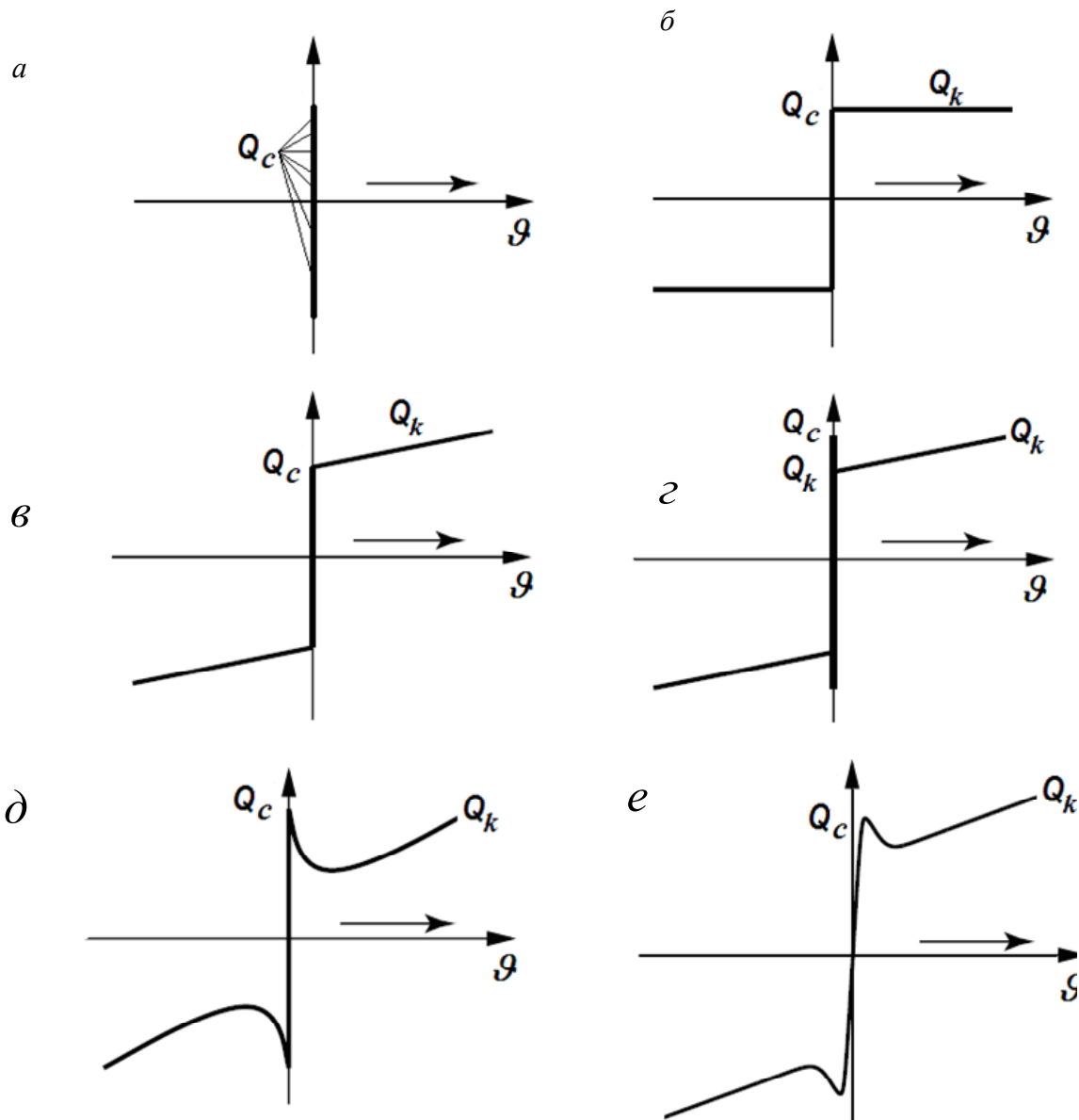


Рис. 1. Основні закони статичного тертя (характеристики тертя $Q = f(\vartheta)$):

- a* – багатозначність статичного тертя при $\vartheta = 0$; *б* – закон Кулона; *в* – закон Кулона + в'язке тертя; *г* – стрибок сили тертя в момент зрушення + Кулонове тертя + в'язке тертя; *д* – гладкий закон переходу від статичного тертя до кінематичного (Штрибек ефект); *е* – неперервна модель тертя

У випадку відсутності відносного руху ($\vartheta = \dot{x} = 0$) сила тертя може приймати будь-які значення, які за модулем менше статичного тертя (рис. 1, *a*). Якщо б малою не була сила, що прикладається до тіла, перед переходом до чистого ковзання завжди буде відбуватися мікрозміщення окремих ділянок номінальної площини контакту. В такому разі виникає черговий формальний парадокс: перебування контактних поверхонь у стані квазістатичного тертя, а значить у відсутності відносної швидкості, не є достатньою умовою зміщення поверхонь однієї відносно іншої.

Стан поверхонь та зовнішні фактори навантаження дають нам той чи інший закон тертя. Наприклад, в момент повного зчеплення сила тертя може приймати будь якого значення не більше сили статичного тертя (рис. 1,а), а при переході до ковзання сила тертя може збільшуватись (рис. 1,в, г), або з початку зменшуватись, а потім збільшуватись. В цілому, залежно від перебігу сили тертя відбувається відповідна силова взаємодія двох поверхонь.

Еволюція фретинг-процесів у номінально – нерухомих з'єднаннях

Важливим для розуміння прихованості малоамплітудного фретингу є встановлення початкового стану системи в момент пуску (перших десятків циклів), а саме позиціонування поверхонь, визначення напружено-деформованого стану, початкової пластичної деформації, характеристики множини мікроконтактів у границях номінальної площини. Все це визначає стаціонарну амплітуду відносного зміщення поверхонь та силу тертя на певному проміжку часу, які значно відрізняється від амплітудно-силових параметрів у початковий момент часу.

Розглядаючи фретинг-процеси як еволюційні, важливо чітко визначити, в першу чергу експериментально, критерії відносного рівня упорядкованості процесу тертя. Без таких критеріїв важко буде відрізнити процес деградації від процесу самоорганізації. При цьому виникає проблема вибору управляючих параметрів. Для циклічних фрикційних мікропереміщень це може бути амплітуда (у бік збільшення), нормальна сила (у бік зменшення), сила тертя (у бік зменшення), параметри Штрибек-ефекту, температури, частоти, реакційна здатність до окислення, адсорбції та інших чинників. У мультистійких станах вибір одного із стаціонарних станів може бути визначений вибором початкових умов. Генеральним управляючим параметром динамічної системи є поняття повільного часу, що відповідає відомому явищу періодичності стадій фретингу. Для довготривалого прогнозування якості номінально-нерухомого з'єднання необхідно чітко визначити критичний стан спряження за яким можливе його руйнування за механізмом фретинг-втоми або фретинг-зношування.

Саме нестаціонарність навантаження при експлуатації автомобільної техніки призводить до раптового руйнування вузлів нерухомого спряження, а прихованість довготривалої дії від фретингу не дає можливості передбачати аварійну ситуацію. Руйнування пошкодженого фретингом номінально-нерухомого з'єднання може відбутися при зміщенні центру ваги вантажу (вузол кріплення причепа), різкі маневри на дорозі, удари о бордюри камені, динамічний дисбаланс при пошкодженні шини, перенавантаження автомобіля, неякісний монтаж. Зупинимось на аналізі ДТП, які сталися за останні два роки в результаті руйнування номінально-нерухомих з'єднань.

Аналіз ДТП

6 березня 2007 року близько 17 год на 204 км + 500 м автодороги Житомир-Чернівці стався виїзд автобуса "Ікарус" д.н. 002-57МС під керуванням водія Воробця В.М. за межі лівої смуги руху, наїзд на захисне металеве огороження з подальшим його пошкодженням та з'їздом автобуса в кювет, де відбулось перекидання автобуса на дах (рис. 2). У результаті ДТП декілька пасажирів автобуса отримали різного ступеня тілесні ушкодження і каретами швидкої допомоги були доставлені в ХМЛ.

7 березня 2007 року під час дослідження технічного стану вказаного автобуса спеціалістом – автотехніком НДЕКЦ при УМВСУ в Хмельницькій області виявлено несправність його ходової частини, яка заключається у порушенні різьбового з'єднання лівої штанги передньої підвіски з переднім наконечником автобуса "Ікарус" д.н. 002-57МС та зриву даної штанги з наконечника, і, відповідно до висновку спеціаліста № 57А від 15.03.2007 р., має експлуатаційний характер, виникла під час руху автобуса до дорожньо-транспортної пригоди під дією циклічних динамічних експлуатаційних навантажень, що викликало порушення співвісності переднього та заднього мостів автобуса із зміщенням лівої частини передньої вісі до задньої частини автобуса і, могло стати причиною виникнення крутного моменту, направленного в сторону зміщення вісі (ліворуч) по ходу руху автобуса та втрати з цієї причини керованості транспортного засобу (рис. 2, б).



Рис. 2. Видгляд слідів гальмування та траєкторії руху автобуса: а - "Ікарус" д.н. 002-57МС до настання ДТП та видгляд автобуса; б - "Ікарус" д.н. 002-57МС на момент огляду місця події



Рис. 3. Загальний вигляд пошкодження елементів передньої підвіски автобуса



Рис. 4. Детальний вигляд пошкодження різьбової частини наконечника лівої штанги передньої підвіски автобуса «Ікарус» д.н. 002-57МС

27.04.2009 року біля 16 год. 30 хвилин в с. Подільське Вінницького району сталась дорожньо-транспортна пригода, під час якої від автомобіля ЗІЛ-131 номерний знак 77-88 ХМП, під керуванням Хмельовського Сергія Миколайовича, який із завантаженим причепом, завантаженим рухався вгору вулицею Козацькій, під час руху відбулось від'єднання причепа від автомобіля, внаслідок чого причіп, покотившись донизу в некерованому стані, здійснив наїзд на пішохода Заганяч Олександра Анатолійовича, який від отриманих травм помер у Вінницькій ЦРЛ.

28.04.2009 року під час дослідження технічного стану вказаного автомобіля та причепа спеціалістом – автотехніком НДЕКЦ при УМВСУ в Хмельницькій області виявлено несправність петлі тягово-зчіпного пристрою причепа (рис. 5), що заключається у порушенні різьбового з'єднання петлі з гайкою її кріплення до диска причепа, яке, за висновком спеціаліста № 54А від 05.05.2009 р., має експлуатаційний характер, виникло внаслідок експлуатаційного зношування різьбової ділянки вказаного з'єднання і наступного некваліфікованого ремонту та усунення несправності вказаного вузла (рис. 5).



Рис. 5. Вигляд тягово – зчіпного пристрою автомобіля ЗІЛ-131 д.н. 77-88 ХМП



Рис. 6. Детальний вигляд пошкодження різьбової частини петлі причепа до автомобіля ЗІЛ-131 д.н.77-88 ХМП



01.07.2009 р., біля 10 год. 30 хв, на перехресті проспекту Миру та Старокостянтинівського шосе у м. Хмельницькому в напівпричепі «МАЗ 9530-010» д/знак АА4191ХТ автомобіля «МАЗ 642208» д/знак АА7378СХ, яким керував водій Кобрін І.В., відламалася частина осі, що спричинило від'єднання переднього

правого колеса причепа. Рухаючись по проїзній частині, колесо скоїло наїзд на автомобіль «Лексус РХ-350» д/знак ВХ7700АТ під керуванням водія Решетюк Ю.В, внаслідок чого автомобіль «Лексус РХ-350» д/знак ВХ7700АТ отримав механічні пошкодження.

В ході дослідження технічного стану та структурного аналізу зламу вісі передніх правих коліс напівпричепа «МАЗ 9530-010» д/знак АА4191ХТ (висновок спеціаліста – автотехніка № 195А від 14.07.09р.) встановлено, що руйнування вісі відбулось внаслідок дії значного динамічних циклічних навантажень експлуатаційного характеру у місці перерізу, яке було ослаблене розвитком фретинг-втомної тріщини металу (рис. 7).

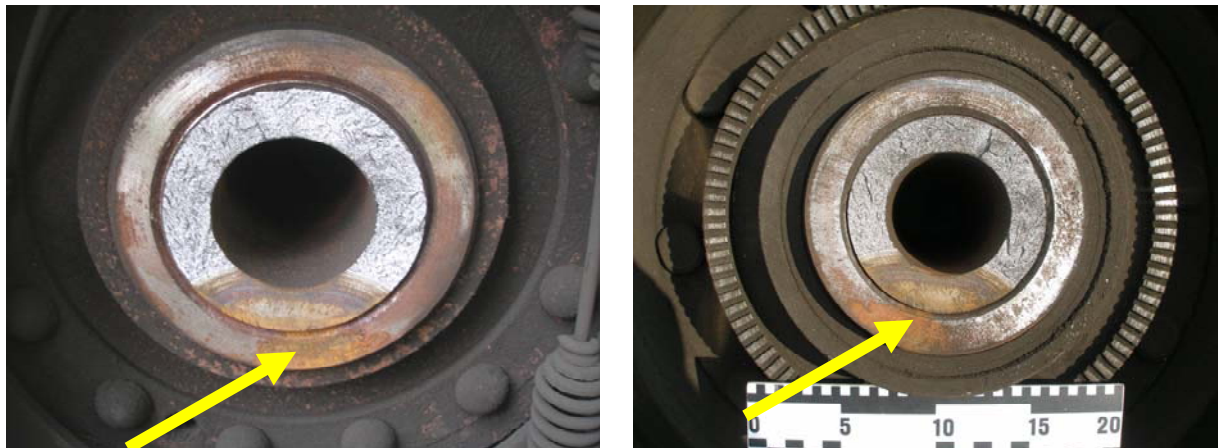


Рис. 7 Детальний вигляд перерізу зламу вісі правих передніх коліс напівпричепа «МАЗ 9530-010» д/знак АА4191ХТ та розвитку фретинг-втомної тріщини (вид на гальмівний щит та на гальмівний барабан)

Висновки

1. Механізм динамічних мікропереміщень у номінально-нерухомих з'єднаннях автомобільної техніки відрізняється широким спектром силового та вібраційного навантаження.
2. Залежно від характеристики контактних поверхонь та їх “замикання” діють декілька законів квазістатичного тертя, які описують кінематику та динаміку мікропереміщень.
3. Малоамплітудний фретинг носить прихований характер та вимагає своєчасного діагностування номінально-нерухомих з'єднань.
4. Рекомендовано розробити інструкції для діагностично-регламентних робіт з виявлення стану зношування та віброактивності вузлів номінально-нерухомих з'єднань у автотранспорті.

Література

1. <http://tayga.info/documents/2009/10/03/~93639>
2. Шалапко Ю.І. Активация фретинг-процесів в області дії мікрозміщень контактних поверхонь Шалапко Ю.І., Курской В.С // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2. – С. 168-73
3. Шалапко Ю.І. Моделювання динамічного руху в інтерфейсі контактних поверхонь при мікропереміщеннях / Шалапко Ю.І., Курской В.С // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 26– 31.

Надійшла 15.11.2010 р.