

4. Styp-Rekowski M. Obróbki hybrydowe i nietradycyjne jako uzupełnienie zbioru technik wytwarzania skoncentrowanymi nośnikami energii. w: Styp-Rekowski M. (red.). 2003, Wybrane zagadnienia obróbek skoncentrowaną wiązką energii. Wydawnictwo Bydgoskiego Towarzystwa Naukowego, Bydgoszcz, 213–216.

5. Mazurkiewicz A. Czynniki wpływające na jakość powierzchni stali po cięciu strumieniem wodno-ściernym / A. Mazurkiewicz // Inżynieria materiałowa, nr 5, 1–4.

6. Perc A. Przecinanie materiałów konstrukcyjnych strugą hydrościerną o obniżonym ciśnieniu. Materiały Konferencji “Mechanika’99. Nauka i praktyka” / A. Perc // Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 135–136.

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ ДИНАМІЧНОГО ЗЧЕПЛЕННЯ–ПРОКОВЗУВАННЯ ПРИ КОНТАКТНИХ МІКРОПЕРЕМІЩЕННЯХ

¹Шалапко Ю.І., ²Радек Н., ³Мушял Я.

¹Хмельницький національний університет (Україна)

²Технологічний університет в Кельцах (Польща)

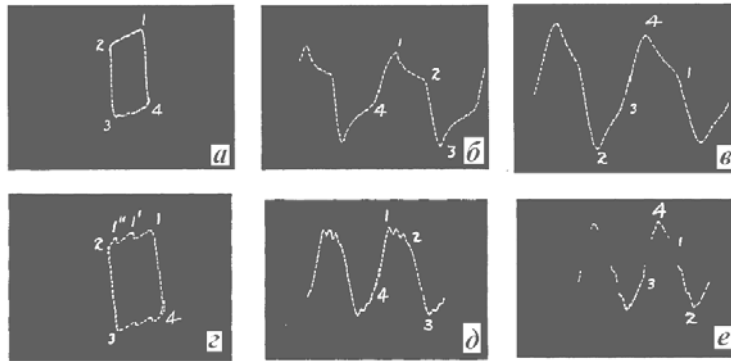
³Природничо-технічний університет в Бидгощі (Польща)

Зношування при фреттинг-корозії виникає між контактними деталями при малих тангенціальних відносних переміщеннях. Зношування при фреттинг і фреттинг-корозії зазвичай відбувається на сполучених поверхнях валів з напруженими на них підшипниками кочення, на осях і ступицях коліс, на опорах поверхонь пружин, на затягнутих стиках, на поверхнях шпонок і пазів, на опорах двигуна, коробок передач. В результаті фреттинг-корозії втомна міцність поверхні зменшується в 3–6 разів. Основними кількісними показниками тертя є сила тертя і коефіцієнт тертя.

Ставиться задача визначення характеристик фрикційної взаємодії реальної поверхні контакту при гармонічному збудженні одного з тіл. Для цього розділимо переміщення точок приконтактного шару, які мають відповідну контактну жорсткість і переміщення всього тіла в цілому. Це дасть змогу адекватно оцінювати результати експерименту та математичну модель, передбачити поведінку контактних поверхонь, відповідне зношування, втрати енергії та величини тангенціальних деформацій в контакті [1, 2].

Перші дослідники, які акцентували увагу на динаміку режиму зчеплення–проковзування були В.В. Sakmann та В.С. Rightmire (1948) у своєму науковому звіті [3]. На рис. 1 представлені оригінальні осцилограми фреттинг процесу та гістерезисні петлі для РДЗП при ампліту-

дах рівних приблизно 20 мкм. Головний висновок авторів стосується можливості визначення характеристик ФП через ідентифікацію форми осцилограм сил тертя та мікропереміщення. На жаль на такий метод і до сьогодні не звертається достатньої уваги.



**Рис. 1 – Динамічна картина ФП при амплітуді 20 мкм:
а-в – діаграми переміщення-сила тертя, перебігу сили тертя та мікропереміщення без режиму зчеплення-проковзування (у версії авторів);
г-е – те саме при наявності зчеплення-проковзування [1, рис. 2.3, с. 19, 21]**

Представимо динамічну модель ННФК як систему двох рухомих мас m та M (рис. 2). Маса m являє собою тонкий поверхневий шар, що циклічно деформується за рахунок сил тертя від взаємодії з основою l . Основа l коливається за гармонічним законом у тангенціальному напрямку і є джерелом кінематичного збурення всієї системи.

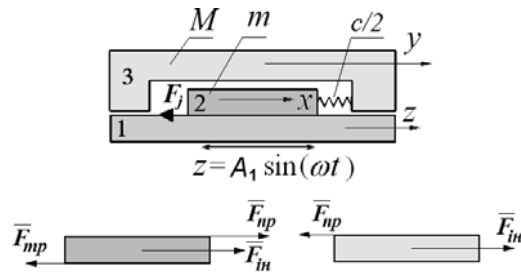


Рис. 2 – Принципова схема контактної взаємодії та баланс сил діючих на складові контактної пари тіла 2 та 3 при тангенціальному циклічному збуренні основи 1

На відміну від динамічного збурення одного з тіл гармонічною силою, що традиційно розглядається в задачах з визначення рівнянь руху

динамічної системи, наша задача значно ускладнюється невизначеністю джерела збурення, тобто закону по якому змінюється сила тертя. Однак, для фретинг процесу кінематичне збурення є принциповим з погляду класичного його визначення як трибологічного явища, пов'язаного з відносними циклічними мікропереміщеннями в контакті двох тіл.

На рис. 1 прийняті наступні позначення:

- x, y, z – переміщення відповідно тіл 1, 2, що мають маси m, M та основи l у нерухомій системі координат;
- c – тангенціальна жорсткість;
- $F_j = \mu \cdot N$ – сила тертя в момент часу j ;
- N – нормальна сила, що діє між деталями 1–2;
- ω – кругова частота коливань деталі 1;
- M – маса деталі 3;
- m – маса деталі 2;
- A_1 – амплітуда переміщення деталі 1;
- $z = A_1 \sin(\omega t)$ – кінематичне збурення основи.

Необхідно знайти закон руху маси m та маси M . Поділимо весь проміжок реального часу симуляції від початку руху t_0 на однакові проміжки тривалістю: $\Delta t = t_j - t_{j-1}$, де $t_j = t_0 + j \cdot \Delta t$ ($j = 1, 2, 3, \dots$).

Приймаємо інтервали часу Δt настільки малими, щоб силу тертя на кожному з інтервалів можна було вважати постійною. Позначимо силу тертя, яка діє на j -му проміжку часу $[t_{j-1}; t_j]$ через F_j . Тоді диференціальне рівняння, що описують рух складових ННФК виглядає наступним чином:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -c(x - y) + F_j; \\ M\ddot{y} = c(x - y). \end{cases}$$

Розглянемо моделювання переходу до проковзування через повільне збільшення амплітуди збурення для умов наведених у попередньому розділі (рис. 3). Перехід до проковзування в контакті відбувся при амплітуді збурення 12,7845 мкм. Слід зауважити, що перехід від зчеплення до проковзування відбувається при дуже малій зміні амплітуди практично миттєво. В нашому випадку достатньо відхилення амплітуди збурення в межах $\pm 10^{-4}$ мкм для того щоб стан номінально-нерухомий фрикційний контакт був у стійкому зчепленні або стійкому проковзуванню.

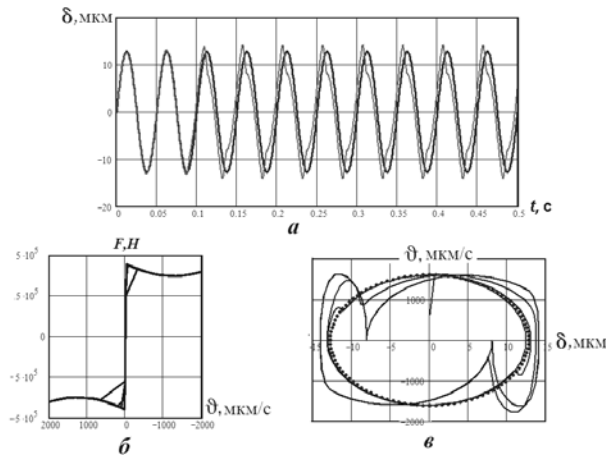


Рис. 3 – Осцилограми мікропереміщень (а), характеристики тертя (б) та фазова діаграма (в) перебігу динамічного стану при амплітуді збурення 12 мкм. Параметри характеристики тертя: $a = 0,05$; $b = 125,4$; $\Delta\vartheta = 15$ мкм/с

Для визначення розсіювання енергії та роботи сили тертя необхідно визначити відносні швидкості проковзування. Виходячи з характеристики тертя (рис. 4, б), максимальна швидкість проковзування може досягати 2000 мкм/с. Розглянемо розподіл цих швидкостей в часі й у відносному переміщенні поверхонь (рис. 4).

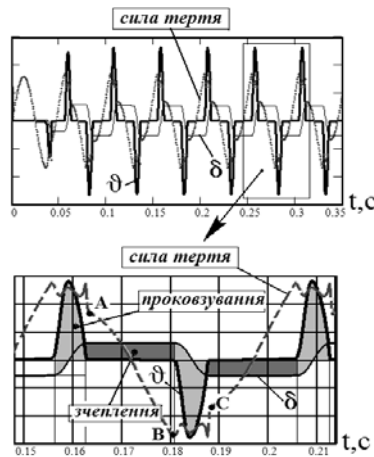


Рис. 4 – Осцилограми фретинг-процесу у відносному зміщенні поверхонь δ , відносній швидкості ϑ та силі тертя

Видно, що процес тертя відбувається у вигляді імпульсів (рис. 4). Будь-яка горизонтальна ділянка на осцилограмах ФП характеризує тривалість перебування контакту в стані зчеплення. Відповідно до стану контакту веде себе й сила тертя. В момент зчеплення сила тертя змінюється у точній відповідності із законом кінематичного збурення (точки А та В), рис. 4. У момент проковзування відбувається ускладнення залежності сили тертя від часу (точки В та С). Флуктуації сили тертя під час ковзання свідчать про автоколивальну природу збурення і призводять до зменшення тертя під час втрати контактом своєї цілісності.

Література

1. Шалапко Ю. І. Еволюційна модель фрикційної взаємодії поверхневих шарів при фретингу / Ю. І. Шалапко // Вісник двигунобудування. – 2006. – № 4. – С. 44–49.
2. Shalapko Y. Dynamic motion into contact with microslip. Surface observation, experiment and simulation / Y. Shalapko, N. Radek // *Technolog.* – 2011. – Pp. 15–20.
3. Sakmann B. W. An Investigation of the Fretting Corrosion under Several Condition of Oxidation / B. W. Sakmann, B. G. Rightmire // *NASA TN.* – 1948. – 1492 p.