

УДК 539.538:539.621

DOI: 10.18372/0370-2197.3(88).14919

М. В. ЧЕРНЕЦЬ¹, А. О. ПЩЕНКО², А. О. КОРНІЄНКО¹, О. В. РАДІОНЕНКО²,
С. В. ФЕДОРЧУК¹

¹Національний авіаційний університет, Київ

²Приазовський державний технічний університет, Маріуполь

ДО ПИТАННЯ ПРО МЕТОД РОЗРАХУНКУ ДОВГОВІЧНОСТІ ПЛОСКИХ НАПРЯМНИХ КОВЗАННЯ З ЕЛЕМЕНТАМИ З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТИВ

Подано метод розрахунку плоских прямолінійних напрямних, у т. ч. і з гібридним поєднанням матеріалів – сірий чавун – полімерні композиційні матеріали. Він базується на феноменологічній трибокінетичній моделі зношування матеріалів при терті ковзання. Проведено розрахунок тривалості роботи (шляху тертя) напрямної з повзуном, на поверхню контакту якого нанесено композиційні матеріали Моглайс (розробник німецька фірма «Diamant») або ДК6 (розробник Україна). Наведено дані про результати та методику проведення трибоекспериментальних досліджень зазначених матеріалів при граничному терті. За результатами експериментів встановлено характеристики зносостійкості досліджуваних композитів у парі з чавуном СЧ25, які є базовими параметрами моделі зношування. Підтверджено, що їх зносостійкість є практично однаковою. У результаті проведеного числового розв'язку цієї зносоконтактної задачі визначено шлях тертя повзуна, необхідний до досягнення ним допустимого зношування. Встановлено, що напрямна з повзуном з композитним покриттям ДК6 у середньому має вдвічі більший ресурс, ніж з покриттям Моглайс. Це зумовлено більшою величиною коефіцієнта тертя ковзання композиту Моглайс у порівнянні з ДК6. Підтверджено значний вплив робочого навантаження на повзун на розрахунковий шлях тертя.

Ключові слова: плоска напрямна ковзання, трибокінетична модель зношування матеріалів, метод розрахунку довговічності і зношування, методика трибоекспериментальних досліджень, полімерні композити, тривалість роботи (шлях тертя) напрямної

Вступ. Напрямні широко застосовують для утримання у контакті рухомих частин різноманітного обладнання та механізмів при їх взаємопереміщенні. Найрозповсюдженими у машинобудуванні є напрямні для забезпечення прямолінійного руху деталей (рис. 1, 2). Залежно від траєкторії пересування повзуна (каретки) бувають напрямні прямолінійного та кругового руху. Їх поділяють також на горизонтальні, вертикальні і похилі. За формою поперечного перерізу найбільш поширеними є прямокутні (плоскі), трикутні (призматичні), трапецієвидні (типу ластівчиного хвоста). Як опори із поступальним рухом спряжених елементів напрямні використовують: в металорізальних верстатах; у підйомно-транспортних механізмах, у різних приладах та вимірювальних пристроях та ін. Зокрема розрахункова оцінка довговічності напрямних телескопічної стріли автомобільного крана КС - 4574 проведена у [1; 2]. У напрямних верстатів нормальної точності для забезпечення прямолінійного руху застосовуються короткі напрямні.

У статті розглядається метод розрахунку плоских прямолінійних напрямних металообробних верстатів з відновленою полімерними композитами основою та з його використанням проведено довговічність (шлях тертя) до нормативного зношування.



Рис. 1. Стіл з плоскими напрямними



Рис. 2. Станини верстатів з клинвоюю і плоскою основами напрямної

Метод розв'язку задачі. Розрахункова схема напрямної подана на рис. 3.

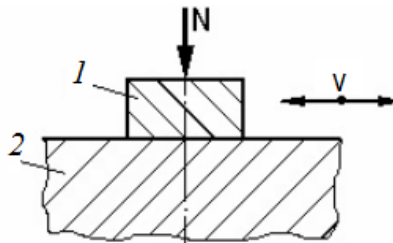


Рис. 3. Розрахункова схема плоскої напрямної зворотно – поступального руху:

1 – повзун (каретка- супорта), 2 – основа (станина)

Згідно математичної моделі [1 – 4] кінетика зношування матеріалів при терті ковзання описується наступною системою лінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{1}{v} \frac{dh_k}{dt} = \Phi_k^{-1}(\tau), \quad k=1;2, \quad (1)$$

де v – швидкість ковзання; h – лінійне зношування; t – час зношування; $\Phi(\tau)$ – характеристична функція зносостійкості матеріалів у прийнятій парі тертя при заданих умовах тертя – базовий інтегральний параметр моделі; $\tau = fp$ – питома сила тертя за законом Кулона; k – нумерація елементів трибосистеми; f – коефіцієнт тертя ковзання; $p = N/A = const$ – контактний тиск, A – площа зношування.

Дослідні значення функції зносостійкості $\Phi_i(\tau_i)$ апроксимуються співвідношенням:

$$\Phi_k(\tau) = B_k \left(\frac{\tau_{0k}}{\tau - \tau_{0k}} \right)^{m_k}, \quad (2)$$

де B_k, m_k, τ_{0k} – характеристики зносостійкості матеріалів трибопари для вибраних умов.

Дослідні значення функції зносостійкості $\Phi_i(\tau)$ матеріалів за результатами трибоекспериментальних досліджень знаходяться так [1]:

$$\Phi_i(\tau_i) = L/h_i, \quad (3)$$

де h_i – дослідні величини лінійного зношування зразків матеріалів; $L=vt$ – шлях тертя; i – рівні навантаження.

З врахуванням (2) після розділення змінних та інтегрування системи (1) за умови $\tau = const$ в області контакту елементів плоскої напрямної отримується залежність для часу зношування t при заданому значенні лінійного зношування h

$$t_k = \frac{B_k}{v} \left(\frac{\tau_{0k}}{\tau - \tau_{0k}} \right)^{m_k} h_k. \quad (4)$$

У напрямних більш значимим чинником є шлях тертя ковзання і його для вибраної допустимого лінійного зношування h_k обчислюють з (4) так:

$$L_k = B_k \left(\frac{\tau_0}{\tau - \tau_0} \right)^{m_k} h_k. \quad (5)$$

Відповідно лінійне зношування елементів трибосистеми для певного шляху тертя обчислюється з виразу

$$h_k = \frac{L_k}{B_k} \left(\frac{\tau - \tau_{0k}}{\tau_{0k}} \right)^{m_k}. \quad (6)$$

У напрямних повзун 1 зношуватиметься постійно, а основа 2 у K разів менше. Коефіцієнт взаємного перекриття

$$K_2 = A_1/A_2, \quad (7)$$

де, відповідно, A_1, A_2 – площі тертя повзуна і основи.

Тоді вирази (5, 6) з урахуванням того, що розраховуються триботехнічні параметри повзуна 1 , матимуть вигляд

$$L_1 = \frac{B_1}{K_1} \left(\frac{\tau_{01}}{\tau - \tau_{01}} \right)^{m_1} h_{1*}, \quad h_1 = \frac{K_1}{B_1} \left(\frac{\tau - \tau_{01}}{\tau_{01}} \right)^{m_1} L_{1*}. \quad (8)$$

де

$$\tau = fp = const, \quad p = N/A_1 = const. \quad (9)$$

Зношування h_2 основи при через досягнуте зношування h_1 повзуна обчислюється за виразом

$$h_2 = h_1 h'_1 / K_1, \quad (10)$$

де

$$h'_1 = \frac{h_2}{h_1} = \frac{\Phi_1(\tau)}{\Phi_2(\tau)} = \frac{B_1 \tau_{01}^{m_1} (\tau - \tau_{02})^{m_2}}{B_2 \tau_{02}^{m_2} (\tau - \tau_{01})^{m_1}} K_2, \quad h'_2 = \frac{\Phi_2(\tau)}{\Phi_1(\tau)} = \frac{B_2 \tau_{02}^{m_2} (\tau - \tau_{01})^{m_1}}{B_1 \tau_{01}^{m_1} (\tau - \tau_{02})^{m_2}} K_1. \quad (11)$$

Експериментальні дослідження зношування. Відома велика кількість матеріалів, що використовується для виготовлення поверхонь тертя деталей. Серед таких матеріалів найбільш ефективними і перспективними є полімери та композиції на їх основі. Застосування таких матеріалів дозволяє істотно підвищити термін служби машин, безвідмовність в експлуатації, зменшити масу і габаритні

розміри, заощадити дорогі леговані сталі та кольорові метали, в багатьох випадках знизити трудомісткість виготовлення вузлів і спростити конструкцію [5-9].

В останні роки все більш широке застосування починають отримувати технології відновлення зношених або пошкоджених поверхонь тертя з застосуванням двокомпонентних композитних матеріалів [6; 7; 10]. Їх використання в ремонтній практиці та подальшої експлуатації вимагають вивчення характеристик цього матеріалу. Зокрема, вивчення вимагають такі параметри, як коефіцієнт тертя ковзання, зносостійкість і вплив на ці параметри мастильних матеріалів.

Одним із прикладів застосування композитного полімерного матеріалу є ремонт зношених поверхонь напрямних металорізальних верстатів із застосуванням композитного полімерного матеріалу «Моглайс» (Moglice) німецької фірми «Diamant» [7-9]. Moglice – це двокомпонентний антифрикційний полімерний матеріал холодного затвердіння, що використовується для відновлення поверхонь ковзання всіх видів. Це Спеціальний матеріал з найбільш тонкими наповнювачами на епоксидних-смолястій основі. Moglice застосовується для ремонту будь-яких систем ковзання, широко застосовується при виробництві нових верстатів для покриття направляючих, а також для їх ремонту та усунення локальних ушкоджень.

Для заміни матеріалу «Моглайс» проводяться дослідження антифрикційних властивостей композитних полімерних матеріалів, які мають більш низьку вартість. Одним з таких матеріалів є композитний полімерний матеріал «ДК6 (ПТ)» підвищеної твердості. Матеріал «ДК6 (ПТ)» створений на основі полімерної матриці з різними наповнювачами, що містять дисульфід молібдену, графіт і ін. Дослідження композитного полімерного матеріалу «ДК6 (ПТ)» виконувалася в Приазовському державному технічному університеті, Маріуполь, Україна.

Для дослідження триботехнічних властивостей полімерів була обрана торцева схема тертя: пальчиковий зразок з полімерного композиту – дисковий чавунний контрзразок.

Виготовлені з полімерного матеріалу «Моглайс» і «ДК6 (ПТ)» зразки випробовувалися на знос при терті ковзання з застосуванням індустріального масла И-20. Частота обертання чавунного контрзразка становила 20 об/хв, що відповідало максимальній швидкості прискорених переміщень супортів металорізальних верстатів, і дорівнювала 4,71 м/хв.

За результатами проведених трибологічних досліджень визначено характеристики зносостійкості B , m , τ_0 обох видів композиційних матеріалів у парі з чавуном СЧ25 для вибраних умов. Встановлено, що вони мають практично однакову зносостійкість.

Приклад розрахунку. Дані для розрахунку: $N = 250, 500, 1000$ Н; $p = 2.5, 5, 10$ МПа, $A_1 = 200$ мм² – площа контакту повзуна 1 з основою 2 ; $l_1 = 100$ мм - довжина повзуна 1 , $l_2 = 500$ мм – довжина основи 2 ; $K_1 = 1, K_2 = 0.2$; $h_{1*} = 0.5$ мм. Кількість напрямних – 2.

Матеріали елементів трибосистеми:

– повзун: полімерні композити Моглайс та ДК6; Моглайс – $E_M = 11.2$ ГПа, $\mu_M = 0.4$, ДК6 – $E_{ДК} = 6.5$ ГПа, $\mu_{ДК} = 0.4$ – модулі Юнга і коефіцієнти Пуасона матеріалів; $B_1 = 1.1 \cdot 10^9$, $m_1 = 1.9$, $\tau_{01} = 0.05$ МПа – їх характеристики зносостійкості; $f_M = 0.08$ (Моглайс), $f_{ДК} = 0.06$ (ДК6);

– основа: чавун СЧ25 – $E_2 = 110$ ГПа, $\mu_2 = 0.25$; $B_2 = 2 \cdot 10^{10}$, $m_2 = 2$, $\tau_{02} = 0.1$ МПа.

Проведено розрахунок граничного шляху тертя L_1 для повзуна при різних навантаженнях, результати якого подано на рис. 4.

Спостерігається значна різниця у тривалості роботи напрямної до прийнятої величини допустимого зношування повзуна композитів Моглайс та ДК6. При однаковій зносостійкості обох матеріалів більшу довговічність у 2 ... 2.4 рази матиме напрямна з повзуном з ДК6. Це зумовлено меншою величиною коефіцієнта тертя ДК6 у 1.33 рази у порівнянні з Моглайс. При однаковому коефіцієнті тертя тривалість роботи напрямної буде однаковою. Тобто при однаковій зносостійкості матеріалів ресурс плоскої напрямної залежить від величини коефіцієнту тертя, а точніше від питомої сили тертя, що виникає у трибоконтакті під впливом зовнішнього навантаження і переміщення повзуна.

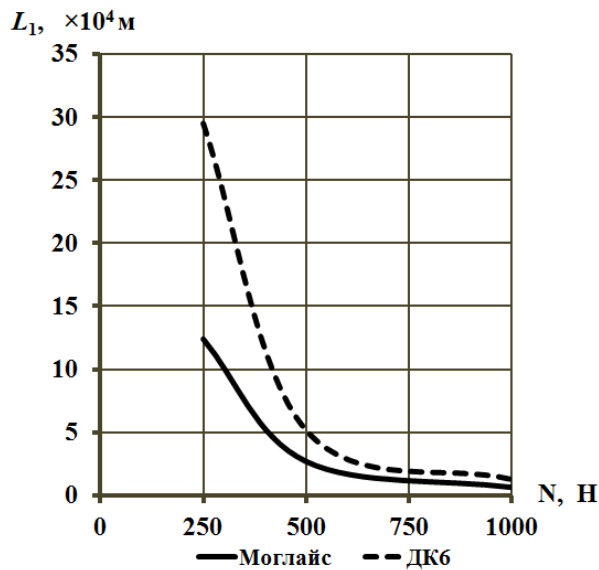


Рис. 4. Вплив робочого навантаження на шлях тертя повзуна

На ресурс напрямної значний вплив виявляє навантаження. Його збільшення у 4 рази спричиняє зменшення тривалості роботи у 19.4 рази (Моглайс) і 23.2 рази (ДК6).

Представлений метод може бути ефективно використаний для дослідження інших конструктивних видів напрямних з різних матеріалів.

Список літератури

1. Андрейкив А.Е., Чернец М.В. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин. – К.: Наукова думка, 1991. – 160 с.
2. Пашечко М.И., Голубец В.М., Чернец М.В. Формирование и фрикционно-контактная стойкость эвтектических покрытий. – Киев: Наук. думка, 1993. – 350 с.
3. Czerniec M. Wytrzymałość stykowo – tarciowa oraz trwałość tribotechnicznych systemów ślizgowych. – Lublin: Wyd. Politechniki Lubelskiej, 2000. - 490 s.
4. Чернец М.В., Клименко Л.П., Пашечко М.И., Невчас А. Трибомеханика. Триботехника. Триботехнологии. В 3-х томах. Т.1. Механика трибоконтактного взаимодействия при трении скольжения. – Николаев: Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2006. – 476 с.
5. Sviridenok A. A. Sviridenok, N. Myshkin, I. Kovaleva Latest developments in tribology in the journal Friction and Wear // Journal of Friction and Wear. – 2015. – Volume 36, Issue 6, P. 449–453.

6. Биба Е. Л. Е. Л. Биба, Д. В. Синькевич, С. Н. Юркевич Обзор опыта применения металлополимерных материалов фирмы «Diamant metallplastic GmbH» (Германия) для ремонтно-восстановительных работ на предприятиях республики Беларусь // *Металлообработка*. – 2004. – № 6. С. 41-44.
7. Friedrich K., Zhang Z., Schlarb A. Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites // *Composites Science and Technology*. – 2005. – V. 65, Issues 15–16, P. 2329-2343.
8. Ищенко А. А. А. А. Ищенко, А. В. Радионенко, Е. А. Ищенко Исследование и применение полимерного материала «моглайс» для восстановления направляющих поверхностей салазок суппортов металлорежущих станков // *Проблеми тертя та зношування*. – 2014. – Вип.№1 (62). – С. 23 – 29.
9. В. Б. Струтинский, А. В. Радионенко, Е. А. Ищенко Триботехнические исследования полимерных композитов, применяемых при восстановлении направляющих станков // *Проблеми тертя та зношування*: –2015. – Вип.№2 (67). – С. 4 – 10.
10. Bociaga E., Baranowski W. Selected technical problems with polymer application on slide way // *Technical Sciences*. – 2005. – № 8. – P. 233-237.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2020.

Чернець Мирон Васильович – д-р техн. наук, професор, провідний науковий співробітник Національного авіаційного університету, myron.czerniec@gmail.com

Ищенко Анатолий Олексійович - д-р техн. наук, професор кафедри «Механічне обладнання заводів чорної металургії», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська 7, м Маріуполь, Україна, 87555, тел.: (067) 943 45 72, E-mail: ischenko50@ukr.net

Корнієнко Анатолий Олександрович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри машинознавства стандартизації та сертифікації Національного авіаційного університету.

Радіоненко Олександр Васильович - канд. техн. наук, доцент кафедри «Технологія машинобудування» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська 7, м Маріуполь, Україна, 87555, тел.: + 38 0629 44 65 89, E-mail: radav50mar@gmail.com.

Федорчук Світлана Володимирівна – старший викладач кафедри машинознавства стандартизації та сертифікації, Національний авіаційний університет.

M. V. CHERNETS, A. O. ISCHENKO, A. O. KORNIENKO, O. V. RADIONENKO,
S. V. FEDORCHUK

ON THE QUESTION OF CALCULATION METHOD OF SERVICE LIFE OF FLAT SLIDE GUIDES WITH ELEMENTS MADE OF POLYMER COMPOSITES

The calculation method of flat slide guides is given, including a hybrid combination of materials - gray cast iron - polymeric composite materials. It is based on the phenomenological tribokinetic wear model of materials during sliding friction. The duration of work (friction path) of the guide with the slider, on the contact surface of which the composite materials Moglais (developed by the German company "Diamant") or DK6 (developed by Ukraine) was calculated. Data on the results and methods of triboexperimental studies of these materials at the boundary friction are given. According to the experiment results, the wear resistance characteristics of the investigated composites in pair with cast iron ЧЧ25, which are the basic parameters of the wear model, were established. It is confirmed that their wear resistance is almost the same. As a result of the numerical solution of this wear-contact problem, the path of friction of the slider, necessary to achieve acceptable wear, is determined. It was found that the guide with a slider with a composite coating DK6 on average has twice the life than with a coating of Moglais. This is due to the higher value of the sliding friction coefficient of the Moglace composite in comparison with DK6. The significant effect of the working slider load on the calculated friction path is confirmed.

Keywords: flat slide guide, tribokinetic wear model of materials, calculation method of service life and wear, triboexperimental research method, polymer composites, guide duration of work (path of friction)

References

1. Andrejkiv A.E., Chernec M.V. Ocenka kontaktynogo vzaimodejstvija trushhihsja detalej mashin. – K.: Naukova dumka, 1991. –160 s.
2. Pashechko M.I., Golubec V.M., Chernec M.V. Formirovanie i frikcionno-kontaktynaja stojkost' jevtekticheskikh pokrytij. – Kiev: Nauk. dumka, 1993. – 350 s.
3. Czerniec M. Wytrzymałość stykowo – tarcziowa oraz trwałość tribotechnicznych systemów ślizgowych. – Lublin: Wyd. Politechniki Lubelskiej, 2000. - 490 s.
4. Chernec M.V., Klimenko L.P., Pashechko M.I., Nevchas A. Tribomehanika. Tribotehnika. Tribotehnologii. V 3-h tomah. T.1. Mehanika tribokontaktynogo vzaimodejstvija pri trenii skol'zhenija. – Nikolaev: Izd-vo NGGU im. Petra Mogily, 2006. – 476 s.
5. Sviridenok A. A. Sviridenok, N. Myshkin, I. Kovaleva Latest developments in tribology in the journal Friction and Wear // Journal of Friction and Wear. – 2015. – Volume 36, Issue 6, P. 449–453.
6. Biba E. L. E. L. Biba, D. V. Sin'kevich, S. N. Jurkevich Obzor opyta pri-menenija metallopolimernyh materialov firmy «Diamant metallplastic GMBH» (Germanija) dlja remontno-vosstanovitel'nyh rabot na predpriyatijah respubliky Belarus' // Metalloobrabotka. – 2004. – № 6 . S. 41-44.
7. Friedrich K., Zhang Z., Schlarb A. Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites // Composites Science and Technology. – 2005. – V. 65, Issues 15–16, P. 2329-2343.
8. Ishhenko A. A. A. A. Ishhenko, A. V. Radionenko, E. A. Ishhenko Issledovanie i primenie polimernogo materiala «moglajs» dlja vosstanovlenija napravljajushhih poverhnostej salazok supportov metallorezhushhih stankov // Problemi tertja ta znoshuvannja. – 2014. – Vip.№1 (62). – S. 23 – 29.
5. V. B. Strutinskij, A. V. Radionenko, E. A. Ishhenko Tribotechnicheskie issledovanija polimernyh kompozitov, primenjaemyh pri vosstanovlenii napravljajushhih stankov // Problemi tertja ta znoshuvannja: –2015. – Vip.№2 (67). – S. 4 – 10.
6. Bociaga E., Baranowski W. Selected technical problems with polymer application on slide way // Technical Sciences. – 2005. – № 8. – P. 233-237.