

УДК 539.538:539.621

DOI: 10.18372/0370-2197.1(90).15233

М. В. ЧЕРНЕЦЬ¹, А. О. КОРНІЄНКО¹, С. В. ФЕДОРЧУК¹, А. О. ІЩЕНКО²,
О. В. РАДІОНЕНКО²

¹Національний авіаційний університет, Київ

²Приазовський державний технічний університет, Маріуполь

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТУ У ЦИЛІНДРИЧНИХ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ НАПРЯМНИХ КОВЗАННЯ

Напрявні (лінійні підшипники ковзання) зворотньо – поступального руху знаходять достатньо широке застосування в багатьох сферах діяльності людини. Проте на даний час відсутні обґрунтовані методи їх розрахунку, зокрема металополімерних напрямних. Подано метод розрахунку параметрів контакту у циліндричних металополімерних напрямних ковзання. На прикладі антифрикційного полімерного композитного матеріалу ДКБ на епоксидній основі, що використовується для відновлення триботехнічних систем ковзання, досліджено вплив навантаження, діаметра втулки і радіального зазору на максимальні контактні тиски та їх розподіл у напрямній. Встановлено кількісні і якісні закономірності залежності контактних тисків від прийнятих чинників впливу: при зростанні навантаження у чотири рази максимальні контактні тиски та кути контакту зростатимуть удвічі незалежно від зміни величин радіального зазору та діаметра основи; збільшення її діаметра призводить до прямопропорційного зниження максимальних контактних тисків; збільшення радіального зазору удвічі призводить до зростання у $\sqrt{2}$ рази тисків незалежно від зміни величини навантаження і діаметра основи. Закономірності зміни параметрів контакту від вказаних чинників подано графічно.

Ключові слова: циліндричні металополімерні напрямні, метод розрахунку, максимальні контактні тиски, кути контакту

Вступ. Напрявні широко застосовують для утримання у контакті рухомих частин різноманітного обладнання та механізмів при їх взаємопереміщенні. Найбільш розповсюдженими в машинобудуванні є напрямні для забезпечення прямолінійного руху деталей. Циліндричні напрямні (лінійні підшипники) зворотньо – поступального руху поряд з плоскими напрямними знаходять достатньо широке застосування в багатьох сферах діяльності людини. Зокрема у різноманітних машинах і обладнанні: ковальсько - пресове обладнання, металорізальні верстати, приводи позиціонування, підйомно - транспортні механізми, пакувальне обладнання, лабораторне та медичне обладнання, обладнання для харчової промисловості, обладнання для оброблення деревини та пластмас, прилади та вимірювальні пристрої та ін. Щодо металополімерних напрямних, то тут використовували метали і полімерні композити їх спряжених деталей суттєво відрізняються за міцністю та зносостійкістю.

Незважаючи на практичну необхідність проектного розрахунку їх довговічності або зношування на стадії проектування, для циліндричних напрямних ковзання не розроблені відповідні розрахункові методи. Відомі в літературі розрахункові методи [1 – 5 та ін.] підшипників ковзання з металевими елементами не були використовували з метою прогнозування довговічності або зношування зазначеного типу напрямних з металевими елементами, а тим більше для металополімерних напрямних. Ці методи можливо б використати для визначення

параметрів контакту, проте навіть у напрямних з металевими елементами таких досліджень не проводилось. Лише у [6] за методом трибоелементів визначено зношування тонкого еластичного шару на твердій втулці підшипника ковзання при зворотньо-поступальному русі. У праці [7], а пізніше у [10 - 13] наведено метод дослідження підшипників ковзання з металевими елементами, що базується на авторській методології дослідження кінетики зношування матеріалів при терті ковзання, згідно якого у [8 - 10] досліджувалась кінетика зношування циліндричних напрямних ковзання з металевими елементами. У роботі [11] було проведено розрахунок параметрів контакту і сил тертя в металевих циліндричних напрямних ковзання.

У статті подано метод розрахунку металополімерних циліндричних напрямних ковзання з втулкою з полімерного композиту ДК6 [12, 13] наведено результати оцінки параметрів контакту.

Розрахунковий метод. Циліндрична напрямна прямолінійного зворотно – поступального руху (рис. 1, а) моделюється пружною основою 2, на якій розташований повзун 3 з запресованою неметалевою втулкою 1 (рис. 1, б).

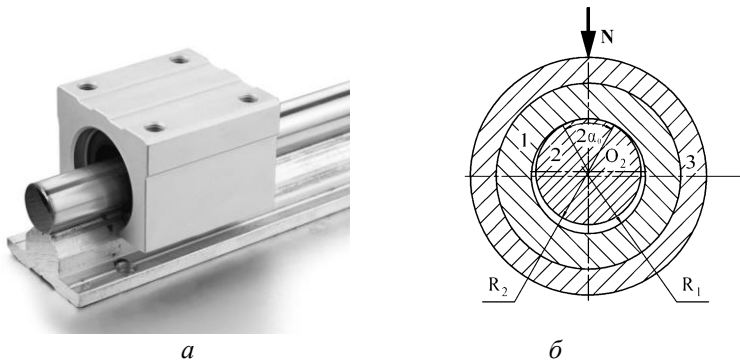


Рис. 1. Циліндрична напрямна ковзання: а – загальний вигляд, б – розрахункова схема

Між полімерною втулкою 1 з внутрішнім радіусом R_1 і сталеву основою радіусу R_2 є радіальний зазор $\varepsilon = R_1 - R_2$. Матеріали напрямної мають різні характеристики пружності та міцності. Повзун 3 знаходиться під впливом робочого зусилля $F = const$, внаслідок чого в області контакту $2\alpha_0$ виникають контактні тиски $p(\alpha)$. Розв'язок задачі проводиться як статичної плоскої контактної задачі теорії пружності для циліндричного з'єднання циліндричних тіл близьких радіусів, яке навантажено зведеною радіальною силою $N = F/l_1$.

Сингулярне інтегро - диференціальне рівняння даної плоскої контактної задачі для визначення виникаючих контактних тисків в спряженні циліндрів близьких радіусів при їх внутрішньому контакті представлено в [8, 9]:

$$p(\alpha) \approx E_0 \varepsilon \sqrt{\tan^2 \frac{\alpha_0}{2} - \tan^2 \frac{\alpha}{2}}, \quad (1)$$

де $E_0 = (e/R) \cos^2(\alpha_0/4)$ – коефіцієнт колокації; $e = 4E_1 E_2 / Z$, E – модуль Юнга; $\kappa = 3 - 4\nu$ при стані плоскої деформації; ν – коефіцієнт Пуассона; $Z = (1 + \kappa_1)(1 + \nu_1)E_2 + (1 + \kappa_2)(1 + \nu_2)E_1$; $\alpha = \pm 0.5\alpha_0$ – точки колокації.

Оскільки з практичної точки зору важливо оцінювати величину максимального контактного тиску $p(0)$, що діє при $\alpha = 0$, то його розраховують за формулою

$$p(0) = E_0 \varepsilon \tan(\alpha_0 / 2). \quad (2)$$

Півкут контакту α_0 , який характеризує зону контакту співдотичних тіл, знаходиться для прийнятої величини навантаження N за таким рівнянням:

$$N = 4\pi R E_0 \varepsilon \sin^2(\alpha_0 / 4). \quad (3)$$

Числовий розв'язок. Дані для розрахунку: $F = 500, 750, 1000, 2000$ Н; $N = F/l_1 = 5, 7.5, 10, 20$ Н/мм, $l_1 = 100$ мм – довжина втулки, $l_2 = 500$ мм – довжина основи; $K_2 = 0.2, K_1 = 1$; $\varepsilon = 0.05, 0.075, 0.1$ мм (посадка з зазором H9/d9); $D_2 = 40, 50$ мм. Матеріали напрямної: втулка повзуна: полімерний композит ДК6 (таблиця); основа: сталь 45 – $E_2 = 210000$ МПа, $\nu_2 = 0.3$.

Таблиця

Фізико-механічні характеристики композиту ДК6

Характеристики	Розмірність	Значення
Густина	г/см ³	1,7
Модуль пружності	МПа	6500
Коефіцієнт Пуассона	–	0,4
Межа міцності на стискання	МПа	140
Межа міцності на згинання	МПа	60
Коефіцієнт тертя по сталі (зі змазкою)	–	0,06 – 0,85
Твердість по Шору (максимальна)		90
Термостійкість: – короткочасна – тривала	°C	–40 ... +125 –20 ... +80

Результати розрахунку максимальних контактних тисків $p(0)$ і кутів $2\alpha_0$ контакту подано на рис. 2 – 5. Суцільними лініями зображено графіки для $D_2 = 40$ мм, а штриховими – для $D_2 = 50$ мм.

На рис. 2 подано залежність максимальних контактних тисків $p(0)$ від навантаження N при різних радіальних зазорах ε у з'єднанні.

Спостерігається практично лінійна залежність $p(0)$ від N при різних радіальних зазорах та обох досліджуваних діаметрах. При зростанні навантаження N у діапазоні 5, 7.5, 10, 20 Н/мм (у 4 рази) максимальні контактні тиски $p(0)$ зростають у 2 рази незалежно від зміни величин радіального зазору ε і діаметра D_2 основи напрямної. Збільшення діаметра D_2 основи в 1,25 рази спричиняє пропорційне зниження тисків $p(0)$.

Залежність максимальних контактних тисків $p(0)$ від радіального зазору ε при різних навантаженнях N наведена на рис. 3.

При зростанні радіального зазору тиски $p(0)$ збільшуються практично лінійно. Хоча у випадку більшого діаметру ця залежність є близькою до лінійної. Зростання радіального зазору ε вдвічі призводить до зростання у $\sqrt{2}$ рази тисків $p(0)$ незалежно від зміни величини навантаження N і діаметра D_2 основи.

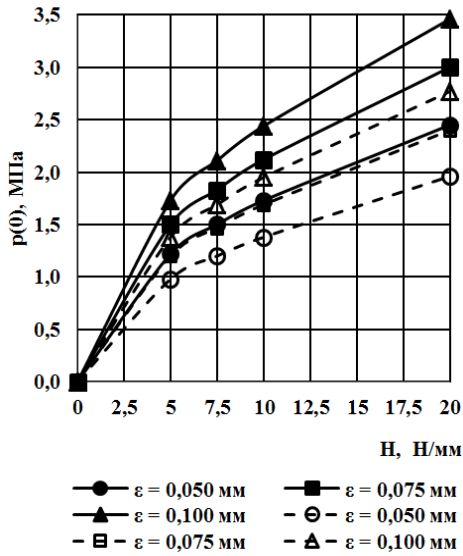


Рис. 2. Вплив навантаження на максимальні контактні тиски

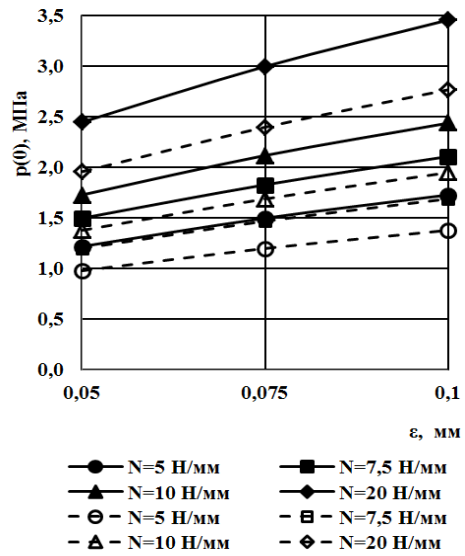


Рис. 3. Вплив радіального зазору на максимальні контактні тиски

Залежність початкового півкута контакту α_0 від навантаження показана на рис. 4.

Якісний характер збільшення кута α_0 від навантаження є подібний до збільшення тисків $p(0)$, тобто він є практично лінійним. Проте тут при зміні діаметра D_2 основи радіальний зазор ε при однаковому навантаженні не впливає на величину α_0 , що є закономірним згідно рівняння (3). Встановлено, що із збільшенням навантаження у 4 рази кути α_0 зростають вдвічі.

Характер залежності кута α_0 від радіального зазору показано на рис. 5.

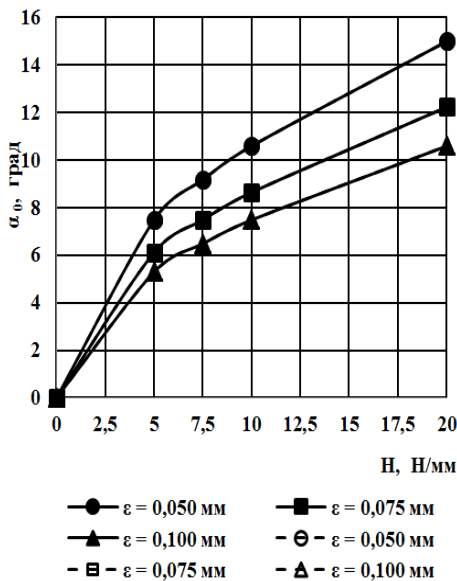


Рис. 4. Вплив навантаження на кут контакту

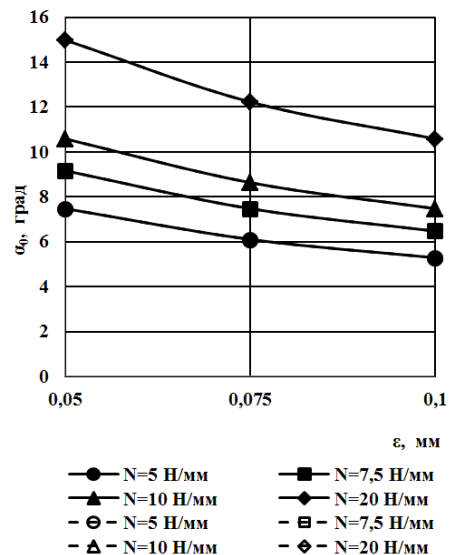


Рис. 5. Вплив радіального зазору на кути контакту

Встановлено, що збільшення радіального зазору вдвічі призводить до зменшення кута α_0 у $\sqrt{2}$ рази при всіх величинах навантаження.

Висновки:

1. Згідно запропонованого методу теорії пружності для розрахунку контактної міцності циліндричних металополімерних напрямних ковзання проведено її дослідження. Для втулки повзуна вибрано антифрикційний композитний матеріал ДК6 на епоксидній основі.

2. У результаті розв'язку цієї контактної задачі встановлено кількісні і якісні закономірності залежності максимальних контактних тисків від навантаження на повзун, діаметра втулки і радіального зазору у з'єднанні.

3. При зростанні навантаження N у діапазоні 5, 7.5, 10, 20 Н/мм (у 4 рази) максимальні контактні тиски $p(0)$ зростають у 2 рази незалежно від зміни величин радіального зазору ε і діаметра D_2 основи напрямної.

4. Збільшення діаметра D_2 основи в 1,25 рази спричиняє пропорційне зниження тисків $p(0)$.

5. Із збільшенням навантаження у 4 рази кути α_0 зростають вдвічі. збільшення радіального зазору вдвічі призводить до зменшення кута α_0 у $\sqrt{2}$ рази при всіх величинах навантаження.

6. Наведені чисельні результати свідчать про ефективність представленого методу для оцінки параметрів контакту в інженерній практиці при проектуванні циліндричних напрямних.

Список літератури

1. Горячева И.Г., Добычин Н.М. Контактные задачи в трибологии. – М.: Машиностроение, 1988.

2. Теплый М.И. Определение контактных параметров и износа в цилиндрических опорах скольжения // Трение и износ. – 1987.– 6. – С. 895–902.

3. Кузьменко А.Г. Развитие методов контактной трибомеханики. – Хмельницький: ХНУ, 2010.

4. Sorokatyi R.V. Modeling the behavior of tribosystems using the method of triboelements. Journal of Friction and Wear, 2002, 23, 12–18.

5. Sorokatyi R.V., Pisarenko V.G., Dykha M.A. Analysis of Wear Surface Geometry Formation in Plain Bearings with Misaligned Shaft and Bush Axes, Journal of Friction and Wear. – 2013, 34 (4), pp. 27–280.

6. Sorokatyi R.V. Evaluation of efficiency of sliding bearings during reciprocation, Journal of Friction and Wear. 2003, 24, 15-21.

7. Чернец М.В. К вопросу об оценке долговечности цилиндрических трибосистем скольжения с границами, близкими к круговым // Трение и износ. – 1996. – № 3. – С. 340–344.

8. Chernets M.V. A contact problem for a cylindrical joint with technological faceting of the contours of its parts // Materials Science. – 2009. – № 6. – pp. 859–868.

9. Чернец М.В. Трибоконтактні задачі для циліндричних з'єднань з технологічною некруглістю. – Люблін: Вид. Люблінської політехніки, 2013. – 274 с.

10. Chernets M., Chernets Ju. Generalized method for calculating the durability of sliding bearings with technological out-of-roundness of details // Proc. JMechE. Part J: Journal of Engineering Tribology. – 2015. – Vol. 229, №2. – pp. 216 – 226.

11. Вельбой В.П., Диха М.О. До розрахунку контактних параметрів і сил тертя в циліндричних напрямних ковзання // Проблеми трибології. – 2016. – № 4. – С. 82 – 88.

12. Ищенко А.А., Радионенко А.В., Ищенко Е.А. Исследование и применение полимерного материала «моглайс» для восстановления направляющих поверхностей салазок

суппортов металлорежущих станков // Проблеми тертя та зношування. – 2014. – №1 (62). – С. 23 – 29.

13. Струтинский Б.В., Радионенко А.В., Ищенко Е.А. Триботехнические исследования полимерных композитов, применяемых при восстановлении направляющих станков // Проблеми тертя та зношування: –2015. – Вип.№ 2 (67). – С. 4 – 10.

Стаття надійшла до редакції 02.02.2021.

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

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

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

Ищенко Анатолій 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.

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.

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

INVESTIGATION OF CONTACT PARAMETERS IN CYLINDRICAL METAL-POLYMER SLIDING GUIDES

Guides (linear plain bearings) of reciprocating motion are widely used in many areas of human activity. However, at present there are no reasonable methods for their calculation, in particular metal-polymer guides. The method of calculation of contact parameters in cylindrical metal-polymer sliding guides is given. On the example of antifriction polymer composite material DK6 on epoxy basis, used for restoration of tribotechnical sliding systems, the influence of load, diameter of the bashing and radial clearance on the maximum contact pressures and their distribution in the guide is investigated. Quantitative and qualitative regularities of dependence of contact pressures on the accepted factors of influence are established: at loading increasing four times the maximum contact pressures and contact angles will increase twice irrespective of change of sizes of a radial clearance and diameter of a basis; increasing its diameter leads to a directly proportional decrease in maximum contact pressures; doubling the radial clearance leads to an increase in pressure, regardless of changes in the magnitude of the load and the diameter of the base. Regularities of change of contact parameters from the specified factors are given graphically.

Keywords: cylindrical metal-polymer guides, calculation method, maximum contact pressures, contact angles

References

1. Gorjacheva I.G., Dobychin N.M. Kontaktnye zadachi v tribologii. – M.: Mashinostroenie, 1988.
2. Teplyj M.I. Opredelenie kontaktnyh parametrov i iznosa v cilindricheskikh oporah skol'zhenija // Trenie i iznos. – 1987.– 6. – S. 895–902.
3. Kuz'menko A.G. Razvitie metodov kontaktnoj tribomehaniki. – Hmel'nickij: HNU, 2010.
4. Sorokatyi R.V. Modeling the behavior of tribosystems using the method of triboelements. Journal of Friction and Wear, 2002, 23, 12–18.
5. Sorokatyi R.V., Pisarenko V.G., Dykha M.A. Analysis of Wear Surface Geometry Formation in Plain Bearings with Misaligned Shaft and Bush Axes, Journal of Friction and Wear. – 2013, 34 (4), pp. 27–280.
6. Sorokatyi R.V. Evaluation of efficiency of sliding bearings during reciprocation, Journal of Friction and Wear. 2003, 24, 15–21.
7. Chernec M.V. K voprosu ob ocnke dolgovechnosti cilindricheskikh tribosistem skol'zhenija s granicami, blizkimi k krugovym // Trenie i iznos. – 1996. –№ 3. – S. 340–344.8. Chernets M.V. A contact problem for a cylindrical joint with technological faceting of the contours of its parts // Materials Science. – 2009. –№ 6. – pp. 859–868.
9. Chernets M.V. Trybokontaktni zadachi dlja tsylindrychnykh ziednan z tekhnolohichnoiu nekrulistiui. – Liublin: Vyd. Liublinskoi politehniki, 2013. – 274 s.
10. Chernets M., Chernets Ju. Generalized method for calculating the durability of sliding bearings with technological out-of-roundness of details // Proc. JMechE. Part J: Journal of Engineering Tribology. –2015. – Vol. 229, №2. – pp. 216 – 226.
11. Velboi V.P., Dykha M.O. Do rozrakhunku kontaktnykh parametriv i syl tertia v tsylindrychnykh napriamnykh kovzannia // Problemy trybolohii. –2016. – № 4. – S. 82 – 88.
12. Ishhenko A.A., Radionenko A.V., Ishhenko E.A. Issledovanie i primenenie poli-mernogo materiala «moglajs» dlja vosstanovlenija napravljajushhih poverhnostej salazok supportov metallozrzhushhih stankov // Problemi tertja ta znoshuvannja. – 2014. – №1 (62). – S. 23 – 29.
13. Strutinskij B.V., Radionenko A.V., Ishhenko E.A. Tribotehnicheskie issledovani-ja polimernykh kompozitov, primenjaemyh pri vosstanovlenii napravljajushhih stankov // Problemi tertja ta znoshuvannja: –2015. – Vip.№ 2 (67). – S. 4 – 10.