

М.В. Чернець, д.т.н., А.О. Корнієнко, к.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

Вплив висотного і кутового коригування зачеплення на довговічність циліндричних металополімерних передач

Досліджено вплив висотного і кутового коригування зачеплення металополімерних циліндричних прямозубих передач на довговічність, що працюють в умовах сухого тертя. Встановлено кількісні і якісні закономірності впливу обох чинників на мінімальну довговічність з урахуванням парності зачеплення зубів. Встановлено, що у передачі з колесом з поліамідного композиту РА6+30CF довговічність буде до 2.4 рази вищою, ніж з ненаповненого поліаміду РА6 і не залежатиме від величини коефіцієнтів коригування зубів. На довговічність передачі суттєво впливає коригування зачеплення. Отримано кількісні і якісні закономірності цього впливу. Встановлено наявність оптимуму коефіцієнтів коригування зубів, при якій довговічність передачі буде найвищою

При коригуванні зачеплення зубчастих передач підвищується їх довговічність. Проте у літературі відсутні методи її розрахункової оцінки коригованих металополімерних (МП) передач. Нижче наведено результати дослідження МП передач з шестернею зі сталі 45 та зубчастим колесом - з ненаповненого поліаміду РА6 або його композиту РА6+30CF, наповненого вуглеволокнами, за розробленим методом [1, 2]. Враховано вплив не лише коригування, а й таких важливих чинників, як умови зачеплення зубів та їх зношування у процесі роботи передач. Відповідні методики і процедури обчислень подано також у [3 - 6] для металевих передач.

Прийнято такі дані для розрахунку довговічності передач: $T_{ном} = 4000$ Нмм – номінальний крутний момент, $n_1 = 700$ об/хв - число обертів шестерні; $m = 4$ мм – модуль зачеплення, $u = 3$ – передавальне відношення, $z_1 = 20$ – число зубів шестерні, $z_2 = 60$ – число зубів колеса, $b = 50$ мм – ширина шестерні.

Коефіцієнти висотного коригування $x_1 = -x_2 = 0, 0.1, 0.2, 0.3$; $a = 160$ мм - міжосьова відстань, $\alpha = 20^\circ$ – нормальний кут зачеплення. При кутовому коригуванні прийнято наступний розклад сумарного коефіцієнта зміщення $x_\Sigma = x_1 + x_2 = 0.3$: $x_1 = 0.05, x_2 = 0.25$; $x_1 = 0.1, x_2 = 0.2$; $x_1 = 0.2, x_2 = 0.1$; $x_1 = 0.25, x_2 = 0.05$, $a_w = 161,169$ мм – коригована міжосьова відстань, $\alpha_w = 21,11^\circ$ - коригований кут зачеплення. Розв'язок проведено за блоковою процедурою розрахунку [1 - 3]. Прийнято розмір блоку $B = 420000$ обертів шестерні (10 годин роботи).

Характеристики матеріалів коліс МП зубчастих передач:

- Шестерня: сталь 45 нормалізація, шліфування, $E_1 = 2.1 \cdot 10^5$ МПа – модуль Юнга, $\nu_1 = 0.3$ коефіцієнт Пуасона; $C_1 = 10^9$, $m_1 = 2$ – характеристики зносостійкості, $\tau_{s1} = 365$ МПа – границя міцності при зрізі.

- Зубчасте колесо: поліамід PA6, $E_2 = 2300$ МПа, $\nu_2 = 0.4$; $C_2 = 1.34 \cdot 10^6$, $m_2 = 1.15$, $\tau_{s2} = 40$ МПа; $f = 0.23$ – коефіцієнт тертя; поліамідний композит PA6+30CF, наповнений 30% вуглеволокна, $E_2 = 3300$ МПа, $\nu_2 = 0.41$; $C_2 = 3.67 \cdot 10^6$, $m_2 = 1.15$, $\tau_{s2} = 40$ МПа; $f = 0.25$.

Зносостійкість матеріалів металополімерних трибпар була встановлена за схемою pin-on-disk в умовах сухого тертя згідно стандарту ISO 7148-2 ($T = 23 \pm 1^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря $50 \pm 5\%$).

Результати досліджень впливу коригування зачеплення на мінімальну довговічність $t_{B\min}$ МП передач з обох видів поліамідів подано на рис. 1 - 4. Мінімальною є довговічність у точці зачеплення зубів, де досягається задане допустиме лінійне зношування $h_{2*} = 0.5$ мм зубів полімерного колеса. Відповідно на рис. 1 подано графіки $t_{B\min}$ при висотному коригуванні зубів, а на рис. 2 – при кутовому коригуванні.

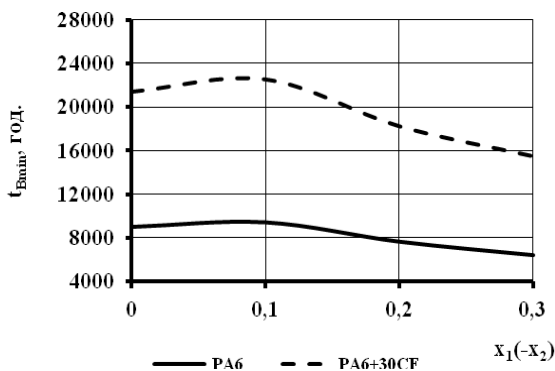


Рис. 1. Вплив висотного коригування зубів на $t_{B\min}$ МП передач: суцільна лінія – колесо з PA6, штрихова – колесо з PA6+30CF

Вид полімеру значно впливає на довговічність МП передач. У передачі з висотним коригуванням зачеплення цей показник склав 2,4 рази. Більшими (у 2,52 рази) будуть довговічності $t_{B\min}$ передачі з колесом з PA6+30CF, ніж з PA6 при кутовому коригуванні зачеплення.

При коригуванні є наявним оптимум коефіцієнтів зміщення, при якому довговічність передачі буде найвищою. У обох видах коригування зубів він буде при $x_1 = -x_2 = 0.1$ (висотне) та $x_1 = 0.1$, $x_2 = 0.2$ (кутове).

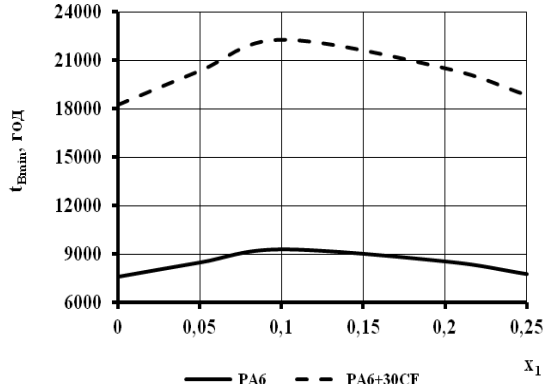


Рис. 2. Вплив кутового коригування зубів на t_{Bmin} МП передач

При першому виді коригування зачеплення зростання довговічності складе 1.054 рази, а при другому – у 1.04 рази. Коригування зачеплення є доцільним з огляду на довговічність передач лише до вказаного оптимального значення. Надалі вона знижуватиметься і при кутовому коригуванні досягне величини, близької до некоригованої передачі (рис. 2). Натомість при висотному коригуванні зачеплення довговічність передачі буде значно нижчою (рис. 1).

Мінімальна довговічність прямозубих МП передач при висотному і кутовому коригуванні зачеплення подана на рис. 3, 4.

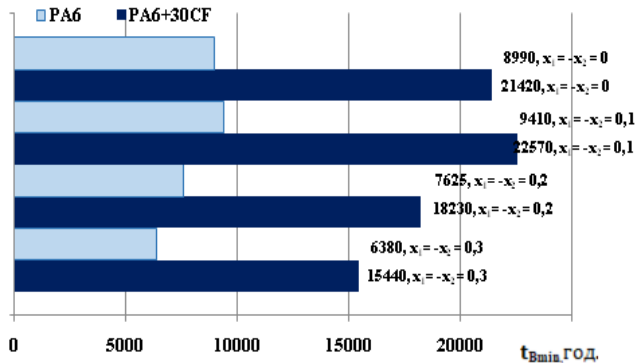


Рис. 3. Довговічність МП передачі при висотному коригуванні зачеплення

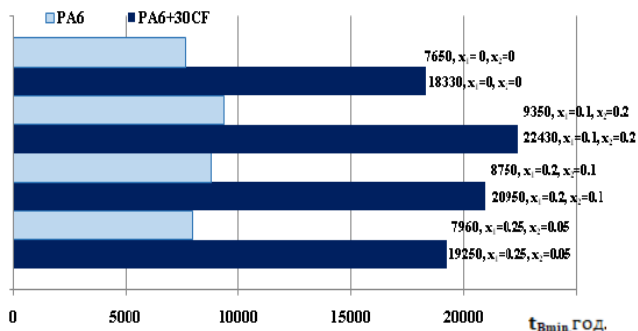


Рис. 4. Довговічність МП передачі при кутовому коригуванні

Висновки.

У результаті проведених аналітичних досліджень встановлено основні якісні закономірності впливу висотного і кутового коригування зачеплення на довговічність МП передач:

1. При коригуванні зачеплення спостерігаються оптимальні величини коефіцієнтів коригування, при яких довговічність передачі буде найвищою.
2. Подальше збільшення коефіцієнтів коригування спричиняє зниження довговічності передачі до рівня нижчого, як у некоригованій передачі. Передача з колесом з PA6+30CF буде мати суттєво вищу довговічність, ніж з колесом з PA6.

Список літератури

1. Chernets M. Method of calculation of tribotechnical characteristics of the metal-polymer gear, reinforced with glass fiber, taking into account the correction of tooth // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability // 2019. – Vol. 21, Issue 4. – pp. 546 – 552.
2. Czerniec M., Kornienko A. Prediction of the Service Life of Metal-Polymer Gears Made of Glass and Carbon Fibre-Reinforced Polyamide, Considering the Impact of Height Correction // Advances in Science and Technology Research Journal. - 2020, Vol. 14, Issue 3. – pp. 15 – 21.
3. Чернець М.В., Ярема Р.Я., Чернець Ю.М. Метод оцінки впливу коригування і зношування зубів евольвентної циліндричної передачі на довговічність та міцність. Ч.1. Довговічність та зношування // ФХММ. – 2012. - № 3. – С. 30 - 39.
4. Чернец М.В., Чернец Ю.М. Оценка прочности, износа и ресурса корригированной цилиндрической зубчатой передачи с учетом условий зацепления зубьев // Трение и износ. – 2016. -№1. – С. 89 – 97.
5. Chernets M., Chernets Ju. The simulation of influence of engagement conditions and technological teeth correction on contact strength, wear and durability of cylindrical spur gear of electric locomotive // Proc. IMechE. Part J: Journal of Engineering Tribology. – 2017. - Vol. 231, No 1. – pp. 57 – 62.