

Badania odchyłek boków zębów zębowników daszkowych po szlifowaniu, wygładzaniu, gładzeniu i kulowaniu

Study of deviations of tooth flanks of chevron pinions after grinding, smoothing, honing and shot peening

PAWEŁ PAWLUS
JACEK MICHALSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.344

Przedstawiono kształtowanie obróbką mechaniczną dokładności powierzchni bocznych zębowników o zębach strzałkowych (daszkowych). Wykonano kolejno obróbkę wykończeniową uzębienia: szlifowaniem kształtowym według metody Kappa, wygładzaniem rotacyjno-ściernym w medium ściernym według metody Almco, gładzeniem według metody Fässlera oraz zamiennie kulowaniem strumieniowym według metody Vapor Blast. Przeprowadzono pomiary odchyłek boków zębów zębowników daszkowych współrzędnościową maszyną pomiarową do kół zębatych.

SŁOWA KLUCZOWE: zębowniki o zębach daszkowych, obróbka wykończeniowa, dokładność uzębienia

Creation of accuracy of the side surfaces of the teeth of chevron pinions is presented. Sequentially processing finishing teeth were: form-grinding by Kappa method, rotor-abrasive smoothing in abrasive medium by Almco method, honing by Fassler method and interchangeable jet shot peening by Vapor Blast method. Measurements of deviations sides of teeth pinions chevron CMM gear were carried out.

KEYWORDS: teeth of chevron, finishing, accuracy of tooth flanks

Wzrastają wymagania stawiane przekładniom zębatym w zakresie prędkości obrotowej, trwałości, nieuszkodzalności, przenoszonych obciążeń, strat energii, wrażliwości na przemieszczenie elementów, stałości i niezmienności ruchu przy zachowaniu niskiego poziomu drgań oraz cichobieżności [4, 5, 12÷14]. Popularne metody obróbki ostatecznej kół w stanie miękkim i twardym to obróbka ścierna zarówno spojonym ścierniwem (szlifowanie, gładzenie i dogładzanie), jak i luźnym ścierniwem (obróbka rotacyjno-ścierna, wibracyjno-ścierna – często wspomaganie chemicznie w wygładzarce pojemnikowej) [2÷4, 6, 7, 11, 12]. Popularnymi technologiami są również: wiórkowanie, docieranie, kulowanie strumieniowe i nagniatanie [1, 6, 7, 11, 13]. Są też stosowane obróbki: magnetościerna, elektrochemiczna, chemicznościerna i inne [10].

Przedmiot, zakres i metodyka badań

Analizowano dokładność wykonania powierzchni boków zębów zębowników daszkowych przekładni lotniczych o modyfikowanej linii i zarysie metodami produkcji masowej (tablica I). Kute matrycowo półfabrykaty wałków uzębionych wykonano ze stali AMS 6308 i ulepszono cieplnie do twardości 35–40 HRC. Uzębienie kół wykonano metodą dłutowania poziomego Sykesa. Następnie powierzchnie boczne zębów zębowników poddano nawęglaniu, hartowaniu, obróbce podzerowej i odpuszczaniu, uzyskując twardość

59–62 HRC. Obróbkę zgrubną i wykończeniową uzębienia zębowników przeprowadzono na szlifierce D-300 Kappa ściernicami kształtowymi o średnicy 28 mm z CBN 60 i CBN 100. W wygładzarce rotacyjno-ścierniej firmy Almco, model 29F-48A, medium ściernie zawierało: ziarna elektrokorundu, proszek myjący, wodę oraz ciecz chemicznie aktywną. Gładzenie zębów zębowników przeprowadzono na obrabiarce Fässler, model D-250, gładzikiem z elektrokorundu ze spoiwem żywicznym 42A 180 R-5B, o pochyleniu 8° linii zębów. W kulowaniu zębowników stosowano zrobotyzowane urządzenie z dyszami pracującymi na sucho, firmy Vapor Blast typ VB 3576. Współczynnik pokrycia powierzchni miał wartość 100%, a intensywność kulowania F 13/17 A. Odchyłki geometryczne boków zębów pięciu zębowników zmierzono współrzędnościową maszyną pomiarową CNC, model PNC 65 firmy Klingelberg Söhne (tablica II).

Analiza wyników badań

Odchylenia zarysu i linii zębów zębowników wykonanych dłutowaniem według metody Sykesa umiejscowione są w wymaganym obszarze tolerancji. Mają one jednak duże wartości odchyłki kształtu i położenia. Odchylenie zarysu zęba wzdłuż wysokości nie jest jednak linią gładką (w sensie geometrii systemów CAx). Ma ono bowiem niewielką odchyłkę falistości. Nie przeprowadzono modyfikowania linii zęba w procesie dłutowania. Dokładność powierzchni bocznych zębów kół zębatych jest największa po gładzeniu według metody Fässlera (tablica II, rysunek c). Wynika to z najmniejszych wartości odchyłki podziałki f_{pt} , odchyłki sumarycznej podziałek F_p i odchyłki bicia promieniowego Fr [8, 9]. Maksymalna odchyłka grubości zęba R_s i odchylenia standardowe analizowanych odchyłek są również najmniejsze dla gładzenia. Wartości odchyłek dokładności wykonania powierzchni boku zębów po szlifowaniu, według metody Kappa ulegają zmniejszeniu w wyniku wygładzania w medium ściernym i kulowania. Zarysy profilu na wysokości zęba nie są jednak po szlifowaniu liniami gładkimi, geometrii CAx. Mają one niewielką odchyłkę falistości. Podczas wygładzania w masie ścierniej i kulowania powierzchnia boczna zębów w małym stopniu zmieniła cechy stereometrii powierzchni boku zęba. Z kolei gładzenie metodą Fässlera umożliwia uzyskanie gładkiego kształtu zarysu zęba na jego wysokości. Odchylenie zarysu zęba od teoretycznej ewolwenty jest wówczas linią wypukłą i gładką umiejscowioną w obszarze tolerancji. Ważną właściwością tej metody gładzenia jest możliwość nadania wymaganego kształtu i jego zmiany w porównaniu z wcześniej otrzymanym w procesie szlifowania. Zaletą gładzenia jest duża powtarzalność wypukłego odchylenia kształtu linii zęba i jego gładkość, z bardzo małą wysokością falistości powierzchni. Kulowanie strumieniowe zapewnia zbliżoną dokładność profilu i linii zęba do otrzymywanej w wyniku szlifowania i wygładzania.

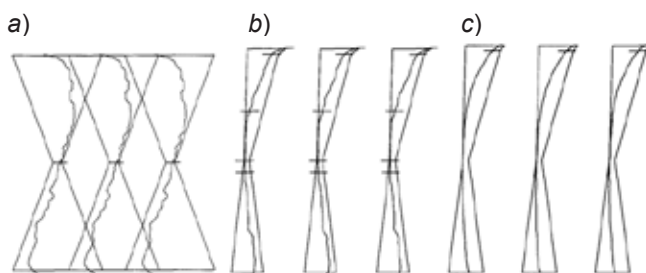
* Prof. dr hab. inż. Paweł Pawlus (ppawlus.prz@edu.pl), dr hab. inż. Jacek Michalski (jmichals@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

TABLICA I. Charakterystyczne wielkości geometryczne i dopuszczalne wartości odchyłek boków zębów zębniaka

Specyfikacja geometrii uzębienia wieńców zębniaka		Wartość
1.	Moduł w przekroju czołowym, mm	2,03200
2.	Moduł w przekroju normalnym, mm	1,90598
3.	Kąt zarysu zęba na średnicy podziałowej w płaszczyźnie normalnej, °	25
4.	Szerokość wieńca zębniaka, mm	34,23
5.	Średnica podziałowa zębniaka, mm	50,80000
6.	Średnica podstaw zębów zębniaka, mm	46,2534–46,1518
7.	Liczba zębów	25
8.	Średnica zarysu czynnego zębniaka, mm	47,4472
9.	Średnica zasadnicza zębniaka, mm	46,0404
10.	Zaokrąglenie podstawy zęba R , mm	min. 0,559
11.	Kąt odtaczania (rozwinęcia) zarysu ewolwentowego zębniaka, °, ′	32°11′
12.	Pomiarowa grubość zęba (mierzona wzdłuż cięciwy zębniaka podziałowego), mm	3,1877–3,2385
13.	Średnica podziałowa, mm, mierzona wałeczkami o średnicy 3,6576 mm	56,9264–56,8299
14.	Kąt pochylenia linii zęba, °	20,31295°
15.	Zewnętrzna średnica zębniaka, mm	55,5219
16.	Przesunięcie wzdłuż płaszczyzny czołowej w osi symetrii, dwóch boków zębów, obu wieńców zębniaka, mm	0,01

TABLICA II. Parametry dokładności powierzchni bocznych zębów zębniaków daszkowych (w nawiasie odchylenie standardowe)

Odchyłki jednoimiennych boków zębów i odchyłki bicia	Dłutowanie metodą Sykesa	Szlifowanie metodą Kappa	Wygładzanie w masie ścierniej metodą Almco	Gładzenie metodą Fässlera	Kulowanie metodą Vapor Blast
Odchyłka podziałki f_{pt} , μm	2,9 (1,4)	2,3 (0,5)	1,6 (0,6)	1,4 (0,3)	1,5 (0,6)
Odchyłka sumaryczna podziałek F_p , μm	17,4 (7,5)	12,3 (3,7)	12,1 (3,8)	3,4 (1,4)	11,5 (3,4)
Odchyłka bicia promieniowego uzębienia F_r , μm	10,1 (5,4)	9,1 (2,3)	4,7 (2,1)	2,2 (0,5)	4,8 (2,2)
Maksymalna odchyłka grubości zęba po cięciu walca podziałowego R_s , μm	8,2 (1,8)	4,5 (0,5)	5,1 (2,0)	3,8 (0,6)	5,1 (2,1)



Rys. Charakterystyczne odchylenia zarysu zęba wzdłuż wysokości dla: a) dłutowania metodą Sykesa, b) szlifowania wykończeniowego metodą Kappa, c) gładzenia metodą Fässlera

Podsumowanie

Powierzchnia boków zębniaka gładzonego w stanie twardej charakteryzuje się najmniejszymi wartościami odchyłek jego boków f_{pt} , F_p , bicia F_r i grubości zęba R_s . Zarazem odchylenie zarysu profilu zęba i profil linii zęba wzdłuż jego szerokości są gładkie, według opisu geometrii systemów CAx, oraz precyzyjnie umiejscowione w zadanym obszarze tolerancji. Uznano tę powierzchnię za odpowiednią dla przekładni o małych oporach ruchu, hałaśliwości i drga-

niach. W gładzeniu metodą Fässlera istnieje możliwość dokładnej i powtarzalnej modyfikacji zarysu i linii zębów.

Kulowanie strumieniowe zębów, po szlifowaniu kształtowym według metody Kappa i wygładzaniu w masie ścierniej, zapewnia zbliżoną dokładność profilu i linii zęba do uzyskanej we wcześniejszym procesie obróbki.

LITERATURA

- Benedetti M., Fontanari V., Höhn B.-R., Oster P., Tobie T. „Influence of shot peening on bending tooth fatigue limit of case hardened gears”. *Int J Fatigue*. Vol. 24, No. 11 (2002): pp. 1127÷1136.
- Denkena B., Koehler J., Schindler A., Woiwode S. „Continuous generating grinding – Material engagement in gear tooth root machining”. *Mech Mach Theory*. Vol. 81, No. 11 (2014): pp. 11÷20.
- Gawroński Z., Kruszyński B., Kula P. „Synergistic effects of thermo-chemical treatment and super abrasive grinding in gears’ manufacturing”. *J Mater Process Tech*. Vol. 159, No. 2 (2005): pp. 249÷256.
- Jolivet S., Mezghani S., El Mansori M., Jourdain B. „Dependence of tooth flank finishing on powertrain gear noise”. *J Manuf Syst*. Vol. 37, No. 2 (2015): pp. 467÷471.
- Liu X., Yang Y., Zhang J. „Investigation on coupling effects between surface wear and dynamics in a spur gear system”. *Tribol Int*. Vol. 101, No. 9 (2016): pp. 383÷394.
- Michalski J., Pawlus P., Żelasko W. „Surface topography of cylindrical gear wheels after smoothing in abrasive mass, honing and shot peening”. *J Phys Conf Ser*. Vol. 311, No. 012022 (2011): pp. 1÷8.
- Oczko K.E. „Doskonalenie procesów obróbki ścierniej. Cz. IV. Gładzenie, dogładzanie i obróbka luźnym ścierniwem”. *Mechanik*. R. 83, nr 11 (2010): s. 783÷793.
- PN-ISO 1328-1:2015-01E. Przekładnie zębate walcowe – Układ ISO tolerancji boków zębów – Część 1: Definicje i dopuszczalne wartości odchyłek boków zębów.
- PN-ISO 1328-2:2000P. Przekładnie zębate walcowe – Dokładność wykonania według ISO – Odchyłki promieniowe złożone i odchyłki bicia.
- Shaikh J.H., Jain N.K. „Modeling of material removal rate and surface roughness in finishing of bevel gears by electrochemical honing process”. *J Mater Process Tech*. Vol. 214, No. 2 (2014): pp. 200÷209.
- Weiss E., Libera M., Waligóra W. „Influence of technological parameters on results of gear finishing process”. *Advances in Manufacturing Science and Technology*. Vol. 29, No. 1 (2005): pp. 91÷102.
- Zhang J., Shaw B.A. „The effect of superfinishing on the contact fatigue of case carburised gears”. *Appl Mech Mater*. Vol. 86 (2011): pp. 348÷351.
- Zwolak J., Palczak A. „Effect of gear teeth finishing method on properties of teeth surface layer and its resistance to pitting wear creation”. *J Cent South Univ T*. Vol. 23, No. 1 (2016): pp. 68÷76.
- Xu B., Shimizu Y., Ito S., Gao W. „Pitch deviation measurement of an involute spur gear by a rotary profiling system”. *Precis Eng*. Vol. 39, No. 1 (2015): pp. 152÷160.