

Porównanie topografii powierzchni boków zębów zębniaków daszkowych przekładni lotniczej obrobionych różnymi technikami obróbki mechanicznej

Comparison of surface topography of chevron pinions tooth flanks from aviation gear after various machining methods

PAWEŁ PAWLUS
JACEK MICHALSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.343

Przedstawiono wyniki badań porównawczych topografii powierzchni bocznych zębniaków o zębach daszkowych. Obróbkę wykończeniową uzębienia wykonano kolejno szlifowaniem kształtowym według metody Kappa, wygładzaniem rotacyjno-ściernym w medium ściernym według metody Almco oraz gładzeniem obwodniowym według metody Fässlera. Przeprowadzono pomiar topografii powierzchni bocznych zębów zębniaków daszkowych profilometrem trójwymiarowym optycznym Talysurf CCI firmy Taylor Hobson.

SŁOWA KLUCZOWE: zębniaki o zębach daszkowych, obróbka wykończeniowa, topografia powierzchni

Comparison of surface topography of the side pinions of chevron teeth is presented. Sequentially form-grinding by Kappa method, rotor-abrasive smoothing in abrasive medium by Almco method and honing by Fassler method for teeth finishing were performed. The surface topographies of the side teeth of chevron pinions were measured by three-dimensional optical profilometer Talysurf CCI.

KEYWORDS: pinion teeth of chevron, finishing, surface topography

Topografia powierzchni boku zębów wpływa na nieuszkodzalność i trwałość zmęczeniową przekładni oraz na jej opory ruchu, hałaśliwość i drgania [2, 5, 7].

Przedmiot, zakres i metodyka badań

Powierzchnia boczna zębów ma zarys ewolwentowy modyfikowany i wypukłą linię zębów. Zębniaki mają 25 zębów, moduł w przekroju normalnym 1,90598 mm, kąt zarysu 25° i kąt pochylenia linii zęba 20,31295°. Są one kute ze stali AMS 6308. Po ulepszeniu cieplnym zapewniającym twardość 35÷40 HRC dłutowano je metodą Sykesa. Następnie poddano powierzchnie boczne zębów zębniaków nawęglaniu, hartowaniu, obróbce podzerowej i odpuszczaniu, uzyskując twardość 59÷62 HRC. Szlifowanie zgrubne i wykończeniowe uzębienia przeprowadzono według metody kształtowej Kappa na szlifierce D-300. Do wygładzania rotacyjno-ściernego w medium ściernym zastosowano urządzenie firmy Almco, model 29F-48A. Medium ściernie zawierało: elektrokorund o numerze wielkości ziaren 16, proszek myjący Almco 59040 A-1, wodę w ilości 2% oraz skoncentrowaną ciecz obróbkową syntetyczną Trim 9106 firmy Teoma, w ilości 7% objętościowo. Gładzenie zębów przeprowadzono na obrabiarce Fässler, model D-250. Gładzik o skośnej linii zębów 8°, miał oznaczenie 42A 180 R-5B.

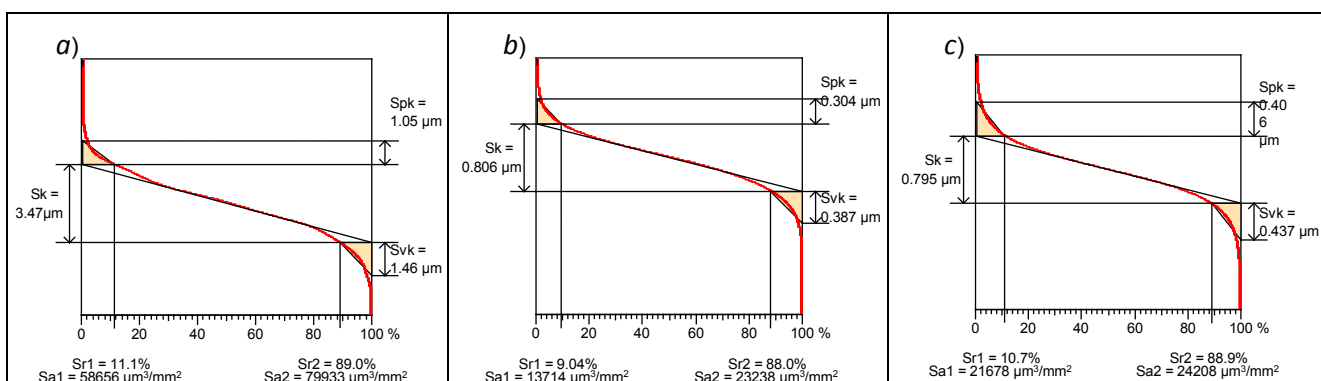
* Prof. dr hab. inż. Paweł Pawlus (ppawlus@prz.edu.pl), dr hab. inż. Jacek Michalski (jmichals@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

TABLICA. Wartości parametrów chropowatości 3D powierzchni bocznych zębów zębniaków daszkowych według norm [3, 4]

Parametry struktury geometrycznej powierzchni	Szlifowanie wg metody Kappa	Wygładzanie w masie ściernej wg metody Almco	Gładzenie wg metody Fässlera
Sq, μm	1,38	0,329	0,347
Ssk, –	-0,14	-0,17	-0,05
Sku, –	2,94	3,41	4,00
Sp, μm	4,26	1,31	1,31
Sv, μm	4,97	1,21	1,28
Sz, μm	9,23	2,52	2,59
Sa, μm	1,10	0,26	0,26
St, μm	9,23	2,52	2,59
Sal, mm	0,0272	0,0112	0,0047
Str	0,033	0,014	0,102
Std, ° [4]	93,0	89,3	86,5
Std, ° [3]	-3,0	0,8	3,5
Sdq	0,215	0,162	0,240
Sdr, % [4]	2,21	1,29	2,73
Sdr, % [3]	2,25	1,30	2,79
Sds, 1/mm ²	19106	23112	24881
Ssc, 1/mm	174	146	204
Sfd	2,68	2,89	2,95
Vm, mm ³ /mm ²	5,26e-005	1,57e-005	2,05e-005
Vv, mm ³ /mm ²	0,00185	0,000416	0,000436
Vmp, mm ³ /mm ²	5,26e-005	1,57e-005	2,05e-005
Vmc, mm ³ /mm ²	0,00122	0,00029	0,000283
Vvc, mm ³ /mm ²	0,001670	0,000374	0,000392
Vvv, mm ³ /mm ²	0,000180	4,20e-005	4,44e-005
Spd, 1/mm ²	1236	8379	10852
Spc, 1/mm	326	218	291
S10z, μm	6,19	2,32	2,82
S5p, μm	4,03	1,21	1,40
S5v, μm	2,16	1,12	1,41
Sda, mm ²	0,000712	0,000114	8,85e-005
Sha, mm ²	0,000760	0,000118	9,09e-005
Sdv, mm ³	1,95e-008	2,78e-009	3,1e-009
Shv, mm ³	2,03e-008	2,72e-009	3,09e-009
Sk, μm	4,18	0,83	1,06
Spk, μm	1,16	0,29	0,37
Svk, μm	1,48	0,43	0,48
Smr1, %	7,3	8,7	8,8
Smr2, %	86,2	86,7	88,5
Smr, %	0,80	16,60	16,40
Smc, μm	1,80	0,40	0,42
Sxp, μm	2,91	0,70	0,72
Sdc, μm	2,89	0,66	0,68
Sbi	0,66	0,42	0,47
Sci	1,45	1,46	1,53
Svi	0,13	0,13	0,13

Analiza wyniki badań

W wyniku wygładzania rotacyjno-ściernego oraz gładzenia kół szlifowanych w stanie twardym uległa zmniejszeniu wysokość chropowatości powierzchni bocznych zębów (tablica). Wysokości chropowatości boków zębów wygła-



Rys. Krzywe Abbotta-Firestone'a powierzchni boku zęba po: a) szlifowaniu kształtowym według metody Kappa, b) obróbce rotacyjno-ścierniej, wygładzaniu w masie ścierniej według metody Almo, c) gładzeniu według metody Fässlera (parametry powierzchni nie filtrowane)

dzanych i gładzonych są zbliżone, zarówno na podstawie wartości parametrów średnich (S_q i S_a) jak i szczytowych (S_p , S_v i S_t). Stosowane obróbki gładkościowe w małym stopniu zmieniają charakter rozkładu amplitud nierówności powierzchni. Mają one rozkład zbliżony do normalnego. Parametry skośność S_{sk} i kurtoza S_{ku} po zastosowaniu tych metod obróbki uzębienia są odpowiednio zbliżone. Stwierdzono po obróbce gładkościowej bardzo duże zmniejszenie odstępów chropowatości powierzchni. Świadczy o tym długość funkcji autokorelacji S_{al} , która z wartości 0,0272 mm po szlifowaniu uległa zmniejszeniu do wartości 0,0112 mm i 0,0047 mm, odpowiednio. Ukierunkowanie powierzchni boków zębów w wyniku wygładzania nie ulega dużej zmianie w porównaniu z powierzchnią szlifowaną. Świadczy o tym zbliżona wartość parametrów S_{td} i S_{tr} . Z uwagi na charakterystyczną topografię powierzchni boków zębów w wyniku gładzenia, jej ukierunkowanie jest odmienne. Dotyczy to zarówno charakterystycznego ukierunkowania S_{td} , jak i zmienności wzdłuż dwu dominujących kierunków, S_{tr} .

Wygładzanie rotacyjno-ściernie zębów stosowane jest najczęściej w celu oczyszczenia powierzchni, usunięcia skaz i zaokrąglenia krawędzi uzębienia. Z kolei ostateczne wykonanie topografii powierzchni gładzeniem kształtuje charakterystyczną topografię boków zębów oraz umożliwia modyfikację zarysu i linii zęba. Wartości liczbowe względnej zmiany pola powierzchni wzniesień w porównaniu do idealnej płaszczyzny S_{dr} , według metody norm [3, 4], mają zbliżoną wartość dla powierzchni szlifowanej i gładzonej oraz mniejszą dla powierzchni wygładzanej rotacyjno-ściernie. Zbliżone cechy tych powierzchni uzyskano także na podstawie wartości ich pochylenia S_{dq} . Ukierunkowanie powierzchni szlifowanej, wygładzanej i gładzonej jest zbliżone na podstawie parametru S_{td} . Jego wartości według norm są jednak odmienne z uwagi na inną bazę odniesienia. Po wygładzaniu i gładzeniu na bokach zębów istotnie zwiększa się gęstość szczytów S_{ds} . Krzywizna ich zaokrąglenia S_{sc} jest mniejsza w wyniku wygładzania oraz większa po gładzeniu w porównaniu ze szlifowaną powierzchnią. Boki zębów po wygładzaniu charakteryzują się małą wartością parametru hybrydowego S_{dr} , a powierzchnia gładzona boków zębów ma większą jego wartość aniżeli po szlifowaniu. Parametr S_{dr} ma także zbliżoną wartość wyznaczoną na podstawie norm [3, 4].

Po gładzeniu metodą Fässlera geometria chropowatości powierzchni jest bardziej złożona aniżeli po wygładzaniu w masie ścierniej czy szlifowaniu, wartość wymiaru fraktalnego S_{fd} jest bowiem większa. Wysokość zredukowana szczytów S_{pk} , zredukowana głębokość rdzenia S_{sk} oraz zredukowana głębokość dolin S_{vk} mikronierówności boków

zębów wygładzanych oraz gładzonych są zbliżone (rysunek). Mają one także znacznie mniejsze wartości niż dla szlifowanych powierzchni boków zębów. Pole powierzchni udział materiałowego S_{mr} ulega korzystnemu zwiększeniu w wyniku wygładzania i gładzenia powierzchni szlifowanej boków zębów. Także objętości materiału V_m , V_{mp} , V_{mc} oraz pustek V_v , V_{vc} , V_{vv} ulegają korzystnemu zmniejszeniu. Z kolei względne miary krzywej Abbotta-Fierstone'a, wskazują na niewielką zmianę indeksu udziału materiałowego S_{bi} , objętości rdzenia S_{ci} oraz objętości dolin S_{vi} . Wyniki potwierdzają przydatność opisu krzywej Abbotta-Fierstone metodą linearyzacji według normy [3] i literatury [6]. Taki opis charakteryzuje się także dobrą zdolnością dyskryminacji i akceptowalną stabilnością [1].

Podsumowanie

Topografia powierzchni zębów daszkowych uzyskana kolejno szlifowaniem kształtowym według metody Kappa, wygładzaniem rotacyjno-ściernym w medium ściernym według metody Almo oraz gładzeniem według metody Fässlera jest odpowiednia dla przekładni lotniczych. Wynika to także z bardzo małej wysokości chropowatości powierzchni, dużej liczby szczytów i korzystnego ich kształtu oraz dużego udziału materiałowego.

Dużą przydatność oceny cech analizowanych topografii powierzchni mają: wysokość amplitud, odstęp, gęstość szczytów ich krzywizna i wysokość oraz parametry krzywej Abbotta-Fierstone'a.

LITERATURA

1. Anderberg C., Pawlus P., Rosén B.-G., Thomas T.R. „Alternative descriptions of roughness for cylinder liner production”. *J MATER PROCESS TECH.* Vol. 209. No. 4 (2009): pp. 1936÷1942.
2. Bergseth E., Sjöberg S., Björklund S. „Influence of real surface topography on the contact area ratio in differently manufactured spur gears”. *TRIBOL INT.* Vol. 56. No. 12 (2012): pp. 72÷80.
3. EUR 15178N:1993. The development of methods for the characterisation of roughness in three dimensions. K.J. Stout, P.J. Sullivan, W.P. Dong, E. Mainsah, N. Luo, T. Mathia, H. Zahouani. Commission of the European Communities, EUR 15178 EN.
4. ISO 25178-2:2012. Geometric product specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.
5. Karpuschewski B., Knoche H.-J., Hipke M. „Gear finishing by abrasive processes”. *CIRP ANN-MANUF TECHN.* Vol. 57. No. 2 (2008): pp. 621÷640.
6. Qi Q., Li T., Scott P.J., Jiang X. „A correlational study of areal surface texture parameters on some typical machined surfaces”. *Procedia CIRP.* Vol. 27 (2015): pp. 149÷154.
7. da Silva S.P., Filho S.L.M.R., Brandão L.C. „Particle swarm optimization for achieving the minimum profile error in honing process”. *PRECIS ENG.* Vol. 38. No. 4 (2014): pp. 759÷768.