

Dokładność wymiarowo-kształtowa i struktura geometryczna powierzchni boków kół zębatach gładzonych metodą Fässlera i Red Ringa

The dimensional and shape accuracy and surface topography of tooth gear sides after honing by Fässler and Red Ring methods

PAWEŁ PAWLUS
JACEK MICHALSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.443

Zamieszczono analizę dokładności wykonania kół zębatach walcowych obrabianych frezowaniem, szlifowaniem, a następnie gładzeniem, według metod Fässlera i Red Ringa. Analizowano uzyskaną topografię boków zębów na podstawie wartości parametrów powierzchni, funkcji autokorelacji, widmowej gęstości mocy i ich wykresów kątowych oraz innych funkcji powierzchni. **SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka wykończeniowa gładzeniem, dokładność wykonania kół zębatach, topografia powierzchni boków zębów

Analysis of the accuracy of cylindrical gears machined by milling, grinding and honing, according to the Fässler or Red Ring methods is given. The resulting topography of the tooth flanks on the basis of surface characteristics, autocorrelation functions, power spectral density and the angular charts and other surface features is also analyzed.

KEYWORDS: honing, precision of the gears, surface topography of the tooth flanks

Rozwój produkcji kół zębatach ukierunkowany jest na wytwarzanie produktów o możliwie najwyższej klasie dokładności [1÷3, 5]. Badania dotyczą dokładności kształtowo-wymiarowej, wysokości nierówności, topografii powierzchni w tym funkcji autokorelacji, gęstości widmowej mocy i innych [6].

Przedmiot, zakres i metodyka badań

Koła zębata walcowe modyfikowane o zębach skośnych miały pochylenie linii zęba $20,31295^\circ$, liczbę zębów 25, moduł w przekroju normalnym 1,90598 mm i kąt zarysu 25° . Półfabrykaty kół ze stali AMS 6308 wykonano metodą kucia matrycowego i ulepszono cieplnie do twardości 35 ± 40 HRC. Uzębienie frezowano obwiedniowo trzyzwojowym frezem obwiedniowym firmy Lorenz, na obrabiarce Pfauter PE 300. Następnie poddano koła zębata nawęglaniu, hartowaniu, obróbce podzerowej i odpuszczaniu. Twardość powierzchni boków zębów kół miała wartość 59 ± 62 HRC. Z kolei szlifowanie obwiedniowe z posuwem ciągłym realizowano na obrabiarkę CNC RZ-300E Reishauer, z zastosowaniem ściernicy 1 TGP100 HV X. W gładzeniu boków zębów przyjęto wariant obróbki ze stałą wartością dosuwu według metody Fässlera, na obrabiarce D-250, gładzikiem z elektrokorundu ze spoiwem żywicznym 42A 180 R-5B. Z kolei w gładzeniu o stałej sile docisku narzędzia do koła i zerowej wartości luzu obwodowego zastosowano

obrabiarkę Red Ring GHH-542 firmy National Broach & Machine Div. Warunki i parametry obróbki odpowiadały zaleceniom produkcji wielkoseryjnej przekładni lotniczych. Analizowano po pięć kół zębatach dla każdego rodzaju gładzenia. Nie stwierdzono po stosowanych metodach obróbki mikropęknięć, odwęglenia i białych plam. Pomiaru dokładności geometrycznej kół przeprowadzono na współrzędnościowej maszynie pomiarowej CNC, model PNC 65 firmy Klingelberg Söhne. Topografię powierzchni boków zębów mierzono profilometrem trójwymiarowym Talyscan 150 firmy Talyron dla odległości próbkowania $4\ \mu\text{m}$ siatki kwadratowej $4,096 \times 4,096\ \text{mm}$.

TABLICA I. Parametry dokładności powierzchni bocznych zębów kół zębatach

| Odchyłki powierzchni boków zębów, bicia i grubości koła zębatego walcowego (w nawiasie odchylenie standardowe) | Gładzenie wg Fässlera | Gładzenie wg Red Ringa |
|--|-----------------------|------------------------|
| 1. Odchyłka podziałki f_{pt} , μm | 1,4 (0,3) | 1,8 (0,6) |
| 2. Odchyłka sumaryczna podziałek koła F_p , μm | 4,4 (1,1) | 5,2 (1,3) |
| 3. Odchyłka bicia promieniowego uzębienia F_r , μm | 2,2 (0,5) | 3,1 (0,9) |
| 4. Maksymalna odchyłka grubości zęba R_s , μm | 3,8 (0,6) | 4,1 (1,5) |

TABLICA II. Parametry trójwymiarowe topografii chropowości powierzchni [4] boku zęba dla kół gładzonych

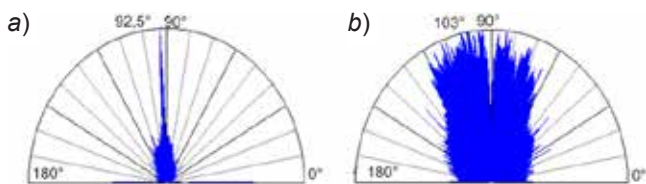
| Parametry chropowości, $\lambda_c = 0,8\ \text{mm}$ Gaussa | Gładzenie według metody | |
|--|-------------------------|-----------|
| | Fässlera | Red Ringa |
| Sa , μm | 0,106 | 0,113 |
| Sq , μm | 0,136 | 0,142 |
| Sp , μm | 1,000 | 0,503 |
| St , μm | 1,700 | 1,200 |
| Ssk | 0,035 | -0,264 |
| Sku | 4,632 | 3,242 |
| Sz , μm | 1,663 | 1,203 |
| STp , % (1 μm) | 49,8 | 99,9 |
| $SHTp$, μm (20% – 80%) | 0,218 | 0,238 |
| SPc , szczyt./ mm^2 (1–10 μm) | 0,060 | 0,119 |
| Sds , szczyty / mm^2 | 1272 | 2231 |
| Str | 0,027 | 0,063 |
| Sal , mm | 0,045 | 0,098 |
| Std , $^\circ$ | 3,0 | 10,0 |
| Sfd | 2,41 | 2,57 |
| $S\Delta q$, $\mu\text{m}/\mu\text{m}$ | 0,0111 | 0,0181 |
| Ssc , 1/ μm | 0,0027 | 0,0054 |
| Sdr , % | 0,0062 | 0,0164 |
| Sk , μm | 0,305 | 0,293 |
| Spk , μm | 0,116 | 0,104 |
| Svk , μm | 0,144 | 0,141 |
| $Sr1$, % | 9,6 | 8,6 |
| $Sr2$, μm | 89,2 | 88,3 |
| Sbi | 0,172 | 0,496 |
| Sci | 1,471 | 1,431 |
| Svi | 0,123 | 0,127 |

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

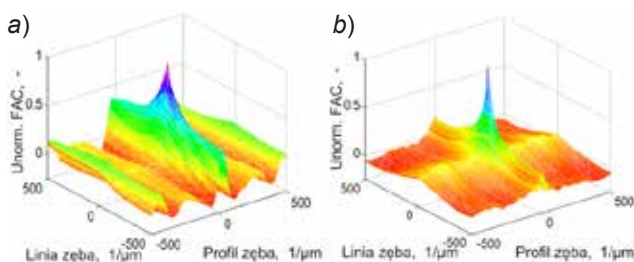
Analiza wyniki badań

Powierzchnie boków zębów gładzonych według metody Fässlera charakteryzują się, w porównaniu do gładzonych metodą Red Ring, mniejszymi wartościami odchyłki podziałki f_{pt} , odchyłki sumarycznej podziałek koła F_p , bicia F_r i grubości zęba R_s (tabl. I). Zarazem odchylenia zarysu zęba na jego wysokości i linii zęba wzdłuż jego szerokości są gładkie (w sensie CAx), bez widocznej falistości powierzchni, i precyzyjnie umiejscowione w zadanym zakresie tolerancji.

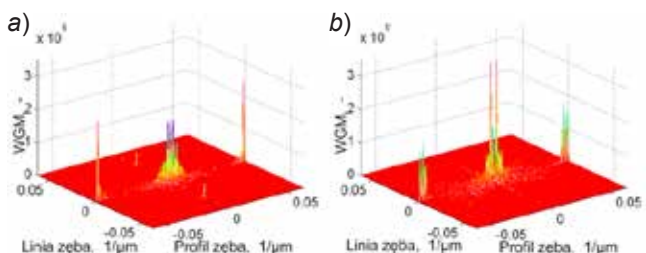
Wysokość chropowatości powierzchni gładzonej głowy i stopy zęba ma zbliżoną wartość. Jednak odmienne są odstęp nierówności, gęstość szczytów i ukierunkowanie. Krzywa udziału materiałowego ma także odmienne wysokości wzniesień Sp_k , rdzenia Sk i wgłębień Svk (tabl. II, rys. 1÷5). Z kolei widmowa gęstość mocy ma mniejszą wartość dla stopy zęba. Większe odstęp nierówności występują na głowach zębów z równoczesną większą gęstością szczytów. Ukierunkowanie topografii powierzchni dobrze charakteryzuje wykres kątowy funkcji widmowej gęstości mocy powierzchni i funkcji autokorelacji powierzchni (rys. 5). Wykres kątowy funkcji korelacji wzajemnej nie umożliwia oceny ukierunkowania topografii powierzchni. Powierzchnia boku zęba gładzonego według metody Red Ringa charakteryzuje się licznymi rysami gładzenia. Z kolei nielicznie występują głębokie rysy gładzenia w wyniku gładzenia według metody Fässlera. Powoduje to łącznie z falistością powierzchni i odchyłkami kształtu większą wartość widmowej gęstości mocy powierzchni gładzonej według metody Red Ringa niż według metody Fässlera. Rozkład gęstości prawdopodobieństwa szerokości rys gładzenia jest odmienny dla analizowanych metod gładzenia. Cechy topografii powierzchni boku zęba są korzystniejsze



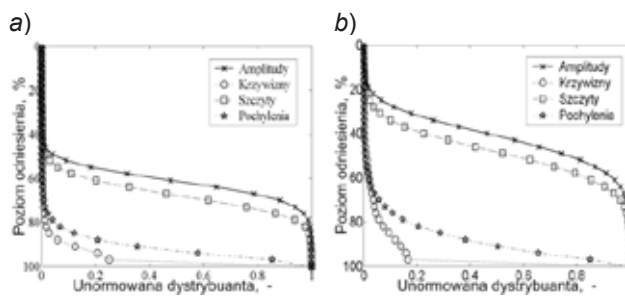
Rys. 1. Wykres izotropowości na podstawie wartości funkcji autokorelacji, topografii powierzchni boku zęba koła gładzonego według metody: a) Fässlera (izotropowość 2,86%), b) Red Ringa (izotropowość 6,24%)



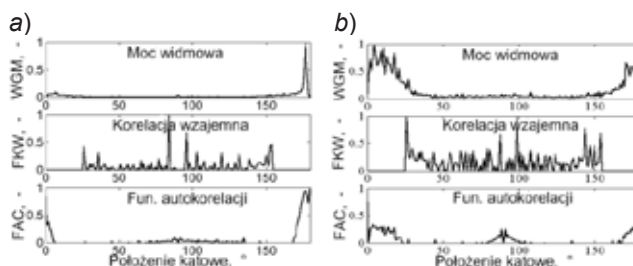
Rys. 2. Funkcja autokorelacji topografii powierzchni gładzonego boku zęba według metody: a) Fässlera, b) Red Ringa



Rys. 3. Widmowa gęstość mocy topografii powierzchni gładzonego boku zęba metodą Red Ringa: a) stopa, b) głowa



Rys. 4. Dystrybuanty gęstości prawdopodobieństwa wysokości amplitud (krzywa Abbotta-Firestone'a), krzywizny i wysokości szczytów oraz pochylenia boków gładzonej powierzchni zęba według metody: a) Fässlera, b) Red Ringa



Rys. 5. Wykresy kątowe funkcji mocy widmowej, korelacji wzajemnej i autokorelacji powierzchni gładzonego boku zęba według metody: a) Fässlera, b) Red Ringa

po gładzeniu według metody Red Ringa aniżeli według Fässlera. Wynika to głównie z mniejszej wysokości największych wzniesień powierzchni Sp , a zwłaszcza większej równomierności ukierunkowania śladów obróbki. Ukierunkowanie powierzchni boku zęba gładzonego według metody Fässlera jest skośne. Nie występują skrzyżowane ślady obróbki. Wynika to ze zmiany zwrotu ruchu obrotowego koła w momencie zmiany zwrotu ruchu posuwisto-zwrotnego w położeniu zewnętrznym.

Podsumowanie

Gładzona powierzchnia boku zęba jest anizotropowa mieszana według metody Fässlera i anizotropowo-izotropowa losowa według metody Red Ringa. Uznano powierzchnię gładzoną za odpowiednią dla przekładni o małych oporach ruchu, hałaśliwości i drganiach.

Ze względu na cechy chropowatości i ukierunkowanie topografii powierzchni korzystniejsze jest gładzenie według metody Red Ringa aniżeli według Fässlera. Jednak ze względu na wartość widmowej gęstości mocy powierzchni boku zęba, niższą hałaśliwość i poziom drgań [1], korzystniejsze jest gładzenie według metody Fässlera.

LITERATURA

- Amini Naser, Rosén B.G, Westberg H. „Optimization of gear tooth surfaces”. *Int J Mach Tool Manu.* Vol. 38, No. 5÷6 (1998): pp. 425÷435.
- 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.
- Brinksmeier E., Giwierzew A. „Hard gear finishing viewed as a process of abrasive wear”. *Wear.* Vol. 258, No. 1 (2005): pp. 62÷69.
- 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.
- 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.
- Pawlus P. „Digitisation of surface topography measurement results”. *Measurement.* Vol. 40, No. 6 (2007): pp. 672÷686.