

Usuwanie falistości cylindrów silników spalinowych za pomocą lokalnej regresji ważonej pierwszego i drugiego stopnia

Wprowadzenie – znaczenie analizy cyfrowej przy badaniu właściwości stykowych elementów silników spalinowych

Elementy wzajemnie ze sobą współpracujące analizuje się m.in. pod względem zużycia powierzchni. Bardzo istotnym elementem takiej analizy jest badanie właściwości stykowych. Pewną oddzielną dziedziną jest pomiar topografii powierzchni. Struktura geometryczna powierzchni (SGP) złożona jest z trzech składników: odchyłki kształtu, falistości oraz chropowatości powierzchni. Odchyłka kształtu jest elementem dużej skali, falistość średniej, natomiast chropowatość małej skali.

Zazwyczaj właściwości stykowe powierzchni są analizowane po usunięciu z niej odchyłki kształtu oraz falistości. Wiele prac naukowych traktuje o usuwaniu zarysu kształtu z SGP, czy też kształtu i falistości, jednak mało jest odnośnie eliminacji tylko odchyłki średniej skali.

Opracowano już metody doboru procedury usuwania formy z elementów o kształcie cylindrycznym, zwracając uwagę na wpływ tychże metod na parametry stereometrii powierzchni. Zazwyczaj większą uwagę poświęcano eliminacji odchyłki kształtu niż falistości.

Nieprawidłowe usunięcie falistości z SGP może spowodować błędne oszacowanie parametrów powierzchni, jak i właściwości stykowych. Przy cylindrach po gładzeniu płasko-wierzchołkowym oraz po wygniataniu kieszeni smarowych może to wpłynąć dodatkowo na zaliczenie badanego elementu jako braku fabrycznego. Część taka jest wówczas odrzucana, pomimo odpowiednio przeprowadzonego procesu wytwarzania. Braki w wiedzy w tej dziedzinie, jaką jest analiza cyfrowa topografii powierzchni, mogą spowodować straty produkcyjne.

1. Badane materiały oraz metody cyfrowe

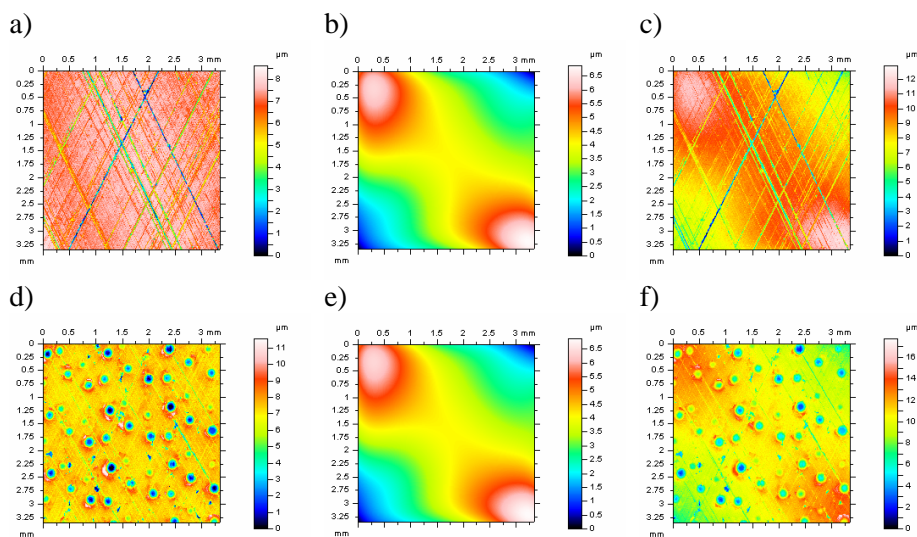
W pracy badano powierzchnie cylindrów po obróbce gładzenia płasko-wierzchołkowego i cylindry po gładzeniu płasko-wierzchołkowym oraz wygniataniu kieszeni smarowych. Przeanalizowano w sumie ponad 20 elementów. Analizowane w pracy parametry zawarte są w normie ISO-25178, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów z grupy Sk. Określone zostały one za pomocą

oprogramowania TalyMap Topography XT. Pomiary powierzchni wykonano za pomocą interferometru światła białego Talysurf CCI Lite. Badane powierzchni miały rozmiar 3.35 x 3.35 mm (2014 x 1024 punkty pomiarowe). Krok próbkowania wynosił względem osi x oraz y 3.27 μ m, oś z 0.01nm.

Procedury cyfrowe, symulacje powierzchni, jak i profilów wykonano za pomocą oprogramowania Matlab, wersja R2012a (numer licencji: 663409). Widoki powierzchni przedstawiono za pomocą oprogramowania dołączonego do profilometru.

2. Modelowanie powierzchni zawierającej falistość oraz chropowatość

W badaniach do chropowatości powierzchni dodawano modelowaną falistość (rys. 1b, e), następnie poddawano filtracji za pomocą lokalnej regresji ważonej pierwszego i drugiego stopnia. Jako optymalizację dobrano minimalizację sumy różnic względnych parametrów stereometrii powierzchni przed dodaniem falistości oraz po jej usunięciu.



Rys. 1. Widok izometryczny cylindra po gładzeniu płasko-wierzchołkowym (a,c) oraz po wygniataniu kieszeni smarowych (d, f) powierzchni pomierzonej (a, d), modelowanej falistości (b, e) oraz powierzchni z dodaną falistością (c, f)

Na podstawie dotychczasowej wiedzy na temat wpływu błędnego usuwania formy ze SGP na parametry stereometrii powierzchni opracowano procedurę zawierając w niej parametry najbardziej czułe na powstałe błędy analizy cyfrowej. Poszczególnym parametrom przyporządkowano także odpowiednie wagi. Do procedury wprowadzono następujące parametry wraz z wagami: średnie odchylenie arytmetyczne S_a 0.1, asymetria S_{sk} 0.1, kurtoza S_{ku} 0.1, maksymal-

na wysokość powierzchni Sz 0.1, średnie odchylenie średniokwadratowe Sq 0.1, nachylenie średniokwadratowe Sdq 0.2, rozwinięte pole międzyfazowe Sdr 0.1, głębokość chropowatości rdzenia Sk 0.2. Procedurę zastosowano do obydwu typów powierzchni cylindrów. Poszukiwano najmniejszej sumy różnic względnych parametrów.

Tabela 1

Parametry stereometrii powierzchni cylindra po gładzeniu płasko-wierzchołkowym oraz po eliminacji falistości za pomocą lokalnej regresji ważonej drugiego rzędu

Parametry	Powierzchnia mierzona	Powierzchnia z falistością	Powierzchnia po filtracji lokalnej regresji ważonej drugiego stopnia o wartości parametru k:			
			0.6	0.7	0.8	0.9
Sq, μm	1.13	1.66	1.11	1.12	1.13	1.13
Ssk	-3.05	-0.845	-2.96	-2.97	-2.97	-2.97
Sku	13.6	4.73	13.3	13.3	13.3	13.2
Sp, μm	1.56	4.13	1.90	1.87	1.81	1.77
Sv, μm	7.05	8.78	7.15	7.15	7.15	7.18
Sz, μm	8.61	12.9	9.05	9.02	8.97	8.96
Sa, μm	0.683	1.28	0.677	0.684	0.69	0.695
Smr, %	26	0.925	5.90	6.73	8.85	11.00
Smc, μm	0.801	2.130	1.110	1.080	1.020	0.983
Sxp, μm	3.98	4.08	3.88	3.93	3.95	3.96
Sal, mm	0.0458	0.7160	0.0393	0.0393	0.0458	0.0458
Str	0.0283	0.5580	0.0227	0.0241	0.0283	0.0287
Std, $^{\circ}$	63.4	63.4	63.4	63.4	63.4	63.4
Sdq	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164
Sdr, %	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
Vm, mm^3/mm^2	0.00002	0.00005	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
Vv, mm^3/mm^2	0.00077	0.00206	0.00080	0.00080	0.00080	0.00081
Vmp, mm^3/mm^2	0.00001	0.00005	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Vmc, mm^3/mm^2	0.000461	0.00143	0.00050	0.00050	0.00049	0.00050
Vvc, mm^3/mm^2	0.000468	0.00182	0.00050	0.00050	0.00051	0.00051
Vvv, mm^3/mm^2	0.000302	0.000238	0.00030	0.00030	0.00029	0.00029
Spd, $1/\text{mm}^2$	435	141	388	390	396	397
Spc, $1/\text{mm}^2$	0.0787	0.0931	0.0806	0.0804	0.0802	0.0802
Sk, μm	0.99	3.85	1.06	1.06	1.08	1.07
Spk, μm	0.242	1.010	0.330	0.298	0.272	0.261
Svk, μm	3.02	2.55	2.93	2.95	2.97	2.97

Stosowano filtr lokalnej regresji ważonej pierwszego oraz drugiego stopnia dla różnego współczynnika: 0.6, 0.7, 0.8 oraz 0.9. Współczynnik filtracji k odpowiada tutaj procentowemu udziałowi filtrowanych punktów spośród wszystkich punktów profilu powierzchni (odpowiednio 0.6 – 60%, 0.7 – 70%, 0.8 – 80% i 0.9 90%). Odnotowano, iż zwiększenie udziału procentowego punktów pozwalało na wyfiltrowanie elementów SGP o mniejszej częstotliwości (kształt oraz falistość).

Tabela 2

Parametry stereometrii powierzchni cylindra po gładzeniu płasko-wierzchołkowym i wygniataniu kieszeni olejowych oraz po eliminacji falistości za pomocą lokalnej regresji ważonej drugiego rzędu

Parametry	Powierzchnia mierzona	Powierzchnia z falistością	Powierzchnia po filtracji lokalnej regresji ważonej drugiego stopnia o wartości parametru k :			
			0.6	0.7	0.8	0.9
Sq, μm	1.32	1.80	1.23	1.24	1.26	1.27
Ssk	-2.15	-0.843	-1.68	-1.78	-1.85	-1.88
Sku	9.77	4.92	8.58	8.74	8.87	8.93
Sp, μm	4.47	7.50	5.39	5.52	5.49	5.34
Sv, μm	7.09	10.3	7.57	7.65	7.63	7.54
Sz, μm	11.6	17.7	13	13.2	13.1	12.9
Sa, μm	0.807	1.34	0.77	0.781	0.788	0.794
Smr, %	0.307	0.0115	0.0659	0.0402	0.0355	0.0511
Smc, μm	3.51	5.45	4.37	4.50	4.47	4.32
Sxp, μm	4.54	4.79	3.87	3.98	4.07	4.13
Sal, mm	0.154	0.625	0.132	0.137	0.139	0.141
Str	0.829	0.613	0.679	0.706	0.717	0.729
Std, °	121	121	121	121	121	121
Sdq	0.125	0.125	0.124	0.124	0.124	0.124
Sdr, %	0.767	0.767	0.76	0.761	0.762	0.762
Vm, mm^3/mm^2	0.000061	0.000074	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006
Vv, mm^3/mm^2	0.00102	0.00212	0.00109	0.00108	0.00108	0.00108
Vmp, mm^3/mm^2	0.00006	0.00007	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006
Vmc, mm^3/mm^2	0.000524	0.00141	0.00058	0.00058	0.00058	0.00058
Vvc, mm^3/mm^2	0.000676	0.001820	0.00078	0.00078	0.00077	0.00077
Vvv, mm^3/mm^2	0.000347	0.000296	0.00029	0.00030	0.00031	0.00031
Spd, $1/\text{mm}^2$	193	45.6	129	123	124	132
Spc, $1/\text{mm}^2$	0.0878	0.1	0.0914	0.092	0.0919	0.0911
Sk, μm	1.18	3.67	1.39	1.41	1.42	1.42
Spk, μm	1.15	1.45	1.19	1.16	1.14	1.15
Svk, μm	3.59	3.05	3.13	3.23	3.27	3.31

Zastosowanie mniejszej wartości parametru k nie dawało efektów w postaci falistości, jedynie wyodrębniło elementy obróbki typu rysy oraz kieszenie smarowe w znacznym stopnie je zniekształcając. Dlatego też w badaniach stosowano filtrację dla współczynnika k o większej wartości procentowej filtrowanego profilu.

3. Wyniki badań

Badano sposoby eliminacji falistości z topografii powierzchni za pomocą lokalnej regresji ważonej pierwszego i drugiego stopnia. Odnotowano, iż regresja ważona pierwszego stopnia w znacznym stopnie zniekształca miejsca występowania na powierzchni kieszeni smarowych, dlatego też do tego problemu metrologicznego użyto regresji stopnia drugiego.

Tabela 3

Suma różnic względnych parametrów stereometrii powierzchni dla cylindrów po gładzeniu płasko-wierzchołkowym oraz wygniataniu kieszeni olejowych

		Suma różnica parametrów względnych po filtracji lokalnej regresji ważonej drugiego stopnia o wartości parametru k :			
		0.6	0.7	0.8	0.9
Powierzchnie cylindrów po gładzeniu płasko-wierzchołkowym	pow_1	2.00	1.77	1.91	1.95
	pow_2	2.34	1.96	1.94	2.12
	pow_3	2.14	1.87	1.92	2.04
	pow_4	2.06	1.84	1.79	2.01
	pow_5	2.15	1.82	1.83	1.99
Powierzchnie cylindrów po gładzeniu płasko-wierzchołkowym oraz wygniataniu kieszeni olejowych	pow_6	7.70	7.19	6.48	5.96
	pow_7	7.05	6.79	6.43	6.04
	pow_8	7.45	7.02	6.76	6.42
	pow_9	6.64	6.43	5.95	5.63
	pow_10	6.89	6.28	5.86	5.43

Dla powierzchni cylindra po gładzeniu płasko-wierzchołkowym najbardziej optymalne rozwiązanie, spośród obranej procedury, dała regresja ważona drugiego stopnia o wartości wskaźnika k z przedziału 0.7 do 0.8. Natomiast dla powierzchni cylindra po gładzeniu płasko-wierzchołkowym oraz wygniataniu kieszeni smarowych najlepszym rozwiązaniem wydaje się być użycie lokalnej regresji ważonej drugiego stopnia o wskaźniku k równym 0.9.

4. Wnioski – znaczenie wyników badań w edukacji technicznej

W dzisiejszej edukacji coraz większą rolę odgrywa analiza cyfrowa, elementy multimedialne i Internet. Już nie używa się połączenia sieciowego tylko jako źródła zdobycia informacji, coraz częściej wykorzystuje się edukację zdalną. Obecnie coraz więcej przedmiotów opartych jest na pracy przy komputerze. Wprowadzanie kolejnych elementów informatycznych do edukacji powinno jednak odbywać się przy zachowaniu odpowiednich kryteriów oraz zasad. Ciągłe zmiany w normach technicznych powodują, iż edukacja, aby nie pozostawać w tyle, potrzebuje nieustannych zmian w przekazywanej wiedzy. W badaniu struktury geometrycznej powierzchni oraz właściwości stykowych powierzchni wzajemnie ze sobą współpracujących duże znaczenie ma właśnie analiza cyfrowa. O trafności przeprowadzanych badań decyduje kilka szczegółów. Są to błędy urządzeń pomiarowych, ludzkie oraz błędy analizy cyfrowej. Przy błędnym doborze sposobów eliminacji falistości z topografii powierzchni powstają błędy zarówno cyfrowe, jak i błędy spowodowane brakiem odpowiedniej edukacji technicznej. Dlatego też metrologia wraz z coraz większą dokładnością i analizą pomiarów niesie ze sobą coraz to większe wymagania edukacyjne dla osoby przeprowadzającej badania.

Literatura

- Leach R. (2013), *Characterization of areal surface texture*, Springer.
- Pawlus P. (2007), *Topografia powierzchni*, Rzeszów.
- Podulka P., Dobrzański P., Pawlus P., Lenart A. (2014), *The effect of reference plane on values of areal surface topography parameters from cylindrical elements*, "Metrology and Measurement Systems", 2.
- Raja J., Muralikrishnan B., Shengyu Fu (2002), *Recent advances in separation of roughness, waviness and form*, "Precision Engineering", 26.

Streszczenie

W artykule przedstawiono jeden z problemów cyfrowej analizy topografii powierzchni, a mianowicie usuwanie falistości ze struktury geometrycznej powierzchni. Badane elementy to cylindry silników spalinowych. Analizy dokonano także pod względem parametrów stereometrii powierzchni zawartych w normie ISO-25178. Zwrócono także uwagę na istotę edukacji technicznej w nauczaniu techniki z dyscypliny metrologii powierzchni.

Słowa kluczowe: topografia powierzchni, cylindry silników spalinowych, lokalna regresja ważona, edukacja techniczna.

Removal of waviness from car engine cylinder liners using locally weighted regression of 1st and 2nd order

Abstract

One of the main aid of digital analysis of surface properties is the removal of waviness from the results of surface topography measurements. The cylinder liners from car engine were analysed. Parameters from ISO-25178 were described. The technical education for metrology field was also taken into consideration.

Key words: surface topography, cylinder liners, locally weighted regression, technical education.