

Technologia obróbki tulei cylindrowych gładzeniem *plateau* i ślizgowymi ośłkami z warstwą diamentową

Plateau and slide honing of cylinder liners using diamond sticks

PAWEŁ PAWLUS
JACEK MICHALSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.444

Zamieszczono analizę powierzchni wewnętrznej tulei cylindrowych po gładzeniu o topografii *plateau* (płaskowierzchołkowej) i ślizgowej, silników o zapłonie samoczynnym i pojemności 13 dm³. Silniki z tymi tulejami cylindrowymi spełniały wymagania norm czystości spalin EURO 5 oraz EURO 6. Gładzenie przeprowadzono w maszynie dwu- i trzywrzecionowej z zastosowaniem kilku zabiegów. Tuleje cylindrowe obrabiano odmiennymi ośłkami z warstwą diamentową z odpowiednimi nastawami procesu.

SŁOWA KLUCZOWE: tuleje cylindrowe, gładzenie, topografia *plateau* i ślizgowa, ośłki z warstwą diamentową

The analysis of micro-geometry of inner surface of cylinder liner after plateau and slide honing from compression-ignition engines and a capacity of 13 dm³ is given. Engines of the cylinder liners meet the requirements of exhaust emission EURO 5 and EURO 6. Honing was performed in two spindle and three spindle machines using several treatments. Cylinder liners were treated using different diamond sticks with the appropriate settings of the process.

KEYWORDS: cylinder liners, honing, plateau and slide topography, diamond sticks

Tuleja cylindrowa silnika spalinowego o ruchu posuwisto-zwrotnym powinna zapewnić małe opory ruchu pierścieni tłokowych i tłoka, charakteryzować się małym zużyciem tribologicznym z równoczesną dużą szczelnością tego zespołu oraz małym zużyciem oleju silnikowego [4÷6, 10, 11]. Proces technologiczny produkcji masowej winien zapewnić dużą wydajność, niskie koszty, wysoką zdolność procesu wytwarzania materiału i dokładności struktury geometrycznej powierzchni oraz topografii powierzchni [1, 2, 7, 9, 10].

Przedmiot, zakres i metodyka badań

Półwyrobem tulei cylindrowych był odlew kokilowy z żeliwa szarego perlitycznego o twardości 255÷313 HB i wytrzymałości na rozciąganie 420 MPa. Wysokość chropowatości powierzchni wewnętrznej po wytaczaniu wynosiła $R_z = 15\div 20 \mu\text{m}$. Badania gładzenia zgrubnego i wstępnego cylindrów pierwszej grupy przeprowadzono dwuwrzecionową pionową gładzarką NAGEL 3VSM10-80T, w czterech zabiegach, ośłkami $2 \times 5 \times 120 \text{ D181/112/X44/75}$, a następnie ośłkami $3 \times 5 \times 75 \text{ D151/112/X44/50}$. Po obciążeniu i profilowaniu ośłki diamentowe umożliwiają zmniejszenie średniej odchyłki walcowości gładzi cylindra z około $52 \mu\text{m}$ po wytaczaniu, do wartości średniej około $4 \mu\text{m}$. Drugie wrzeciono służyło do gładzenia wykończeniowego i ostatecznego ośłkami $2,5 \times 8 \times 75/5 \text{ D76/112/X44/35}$ oraz $3 \times 6 \times 150/3 \text{ D15/118/X31/50}$. Obwodowa

składowa prędkości gładzenia wynosiła 58 m/min, składowa osiowa 20 m/min, a dosuw wynosił $4,2 \mu\text{m/s}$ i $4,8 \mu\text{m/s}$. W gładzeniu ślizgowym tulei cylindrowych drugiego silnika spełniającego normę czystości spalin EURO 6 stosowano gładzarkę pionową trzywrzecionową NAGEL EEV64LM. Pierwsze wrzeciono zaopatrzone w głowicę jednostopniową z ośłkami $5 \times 5 \times 75/3 \text{ MN2 D151/812/X44/35}$. Głowica miała znacznie większą niż poprzednio prędkość ruchu obrotowego 86 m/min i prędkość ruchu wzdłużnego 30 m/min. Dosuw roboczy początkowy z prędkością $4,2 \mu\text{m/s}$ zwiększono następnie do $4,8 \mu\text{m/s}$. Uzyskano wysokość chropowatości powierzchni $R_z = 9 \mu\text{m}$. Drugie wrzeciono gładzenia wykończeniowego było z głowicą o nierówno-

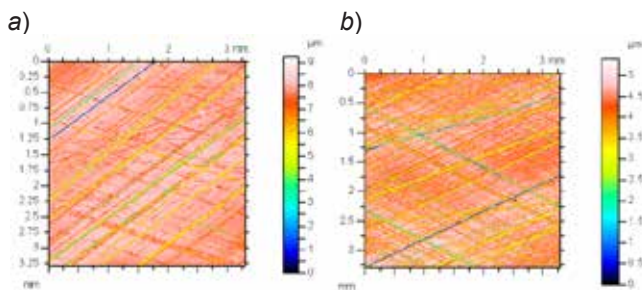
TABLICA. Wartości parametrów chropowatości 3D powierzchni cylindrów po gładzeniu [3, 8]

Parametry struktury geometrycznej powierzchni	Gładzenie	
	Plateau	Ślizgowe
$Sq, \mu\text{m}$	0,938	0,590
Ssk	-2,93	-3,73
Sku	13,6	25,8
$Sp, \mu\text{m}$	1,15	1,50
$Sv, \mu\text{m}$	6,81	6,37
$Sz, \mu\text{m}$	7,96	7,88
$Sa, \mu\text{m}$	0,598	0,355
$St, \mu\text{m}$	7,96	7,88
Sal, mm	0,0173	0,0179
Str	0,0113	0,0172
$Std, ^\circ [8]$	35,2	31,5
$Std, ^\circ [3]$	54,8	58,5
$Sdq, -$	0,142	0,104
$Sdr, \% [8]$	0,932	0,514
$Sdr, \% [3]$	0,981	0,528
$Sds, 1/\text{mm}^2$	4828	5279
$Ssc, 1/\text{mm}$	28,3	27,0
Sfd	2,74	2,65
$Vm, \text{mm}^3/\text{mm}^2$	8,77e-006	1,65e-005
$Vv, \text{mm}^3/\text{mm}^2$	0,000608	0,000412
$Vmp, \text{mm}^3/\text{mm}^2$	8,77e-006	1,65e-005
$Vmc, \text{mm}^3/\text{mm}^2$	0,000415	0,000274
$Vvc, \text{mm}^3/\text{mm}^2$	0,000345	0,000274
$Vvv, \text{mm}^3/\text{mm}^2$	0,000263	0,000138
$Spd, 1/\text{mm}^2$	189	211
$Spc, 1/\text{mm}$	70,7	71,0
$S10z, \mu\text{m}$	5,51	4,86
$S5p, \mu\text{m}$	1,75	1,24
$S5v, \mu\text{m}$	3,76	3,62
Sda, mm^2	0,00305	0,00319
Sha, mm^2	0,00506	0,00452
Sdv, mm^3	1,57e-007	1,34e-007
Shv, mm^3	1,55e-007	1,22e-007
$Sk, \mu\text{m}$	0,680	0,516
$Spk, \mu\text{m}$	0,168	0,280
$Svk, \mu\text{m}$	2,55	1,34
$Smr1, \%$	7,15	9,10
$Smr2, \%$	75,2	77,9
$Smr, \%$	68,0	4,92
$Smc, \mu\text{m}$	0,599	0,395
$Sxp, \mu\text{m}$	3,19	1,69
$Sdc, \mu\text{m}$	0,760	0,561
Sbi	1,920	0,589
Sci	0,432	0,629
Svi	0,280	0,233

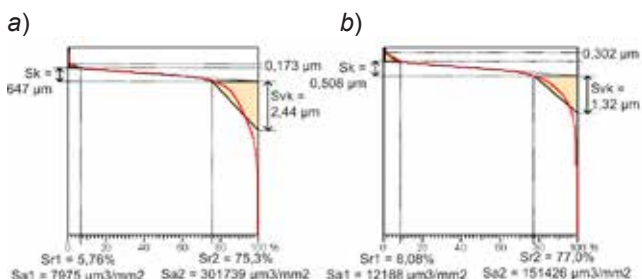
* Prof. dr hab. inż. Paweł Pawlus (ppawlus@prz.edu.pl), dr hab. inż. Jacek Michalski (jmichals@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

miernym położeniu oselek $5 \times 5 \times 75/3$ MN2 D76/112/X44/25, wzdłuż jej obwodu. Zapewniły one wysokość chropowatości powierzchni $R_z = 5 \mu\text{m}$. Prędkość ruchu obrotowego wynosiła 40 m/min, prędkość ruchu wzdłużnego 21 m/min, natomiast dosuw miał prędkość dwustopniową, o wartościach 4,0 $\mu\text{m/s}$ i 4,8 $\mu\text{m/s}$. Głowica trzeciego wrzeciona miała osełki o charakterystyce $3 \times 5 \times 100/3$ D15/118/X44/75, prędkość obrotową 29 m/min, prędkość wzdłużną 15 m/min i nacisk od układu hydraulicznego. Stosowano trzy stopnie nacisku o wartościach 1,1 MPa, 0,4 MPa i 0,3 MPa, dla których wykonano 16, 7 i 3 podwójnych skoków głowicy. Płynem obróbkowym we wszystkich trzech zabiegach był olej rafinowany ECOCUT HON 15. Dla obydwu tulei cylindrowych naddatek obróbkowy wynosił odpowiednio w gładzeniu wstępnym $0,045 \pm 0,07$ mm, gładzeniu wykończeniowym $0,04 \pm 0,05$ mm i gładzeniu ostatecznym $0,005$ mm.

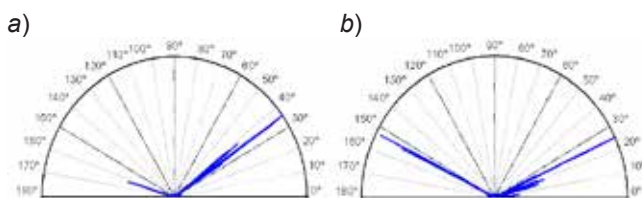
Mikronierówności powierzchni wewnętrznej cylindra mierzono na wyciętych próbkach wzdłuż ich tworzącej profilometrem optycznym Talysurf CCI firmy Taylor Hobson (tablica). Kwadratowy obszar pomiaru o boku 3,29 mm miał krok próbkowania 3,22 nm.



Rys. 1. Mapa konturowa powierzchni gładzonego cylindra: a) płaskowierzchołkowo (*plateau*), b) ślizgowo (*slide*, *gleit*)



Rys. 2. Krzywa Abbotta-Firestone powierzchni gładzonego cylindra: a) płaskowierzchołkowo, b) ślizgowo



Rys. 3. Charakterystyka izotropowości (za pomocą funkcji autokorelacji) powierzchni gładzonego cylindra: a) płaskowierzchołkowo (izotropowość 1,65%), b) ślizgowo (izotropowość 2,68%)

Analiza wyników badań

Powierzchnia gładzi cylindrowej *plateau* charakteryzuje się większą wysokością mikronierówności powierzchni niż tuleja o topografii powierzchni *slide* (tablica, rys. 1). Widoczne na podstawie zredukowanej głębokości rys gładzenia Svk i zredukowanej głębokości rdzenia chropowatości Sk (rys. 2). Szczególnie korzystne są parametry

krzywej Abbotta-Firestone'a; Smr , Smc , Sxp i Sdc . Tuleja cylindrowa o topografii *slide* ma większą równomierność struktury dwukierunkowej skrzyżowanej (rys. 3). Ma także nieco większe odstępstwa nierówności, charakteryzowane długością funkcji autokorelacji $Sa1$, mniej skomplikowaną mikrogeometrię (mniejszy wymiar fraktalny Sfd), mniejsze pochylenie powierzchni Sdq oraz większą gęstość szczytów Spd o nieco większej krzywiźnie zaokrąglenia Spc . O korzystniejszych tribologicznie cechach topografii *slide* świadczą także mniejsze wartości indeksu, krzywej Abbotta-Firestone'a, Sbi i Svi oraz większa wartość Sci . Wysokości pięciu $S5p$, $S5v$ oraz dziesięciu $S10z$ szczytów i wgłębień też są mniejsze.

Podsumowanie

Zamieszczona analiza wskazuje, że tuleje o topografii powierzchni płaskowierzchołkowej i ślizgowej spełniają wymagania europejskiego standardu czystości spalin silnika Diesla o dużej pojemności EURO 5 lub EURO 6. Dodatkowe badania produkcyjne wskazują, że tuleje cylindrowe *plateau* mają współczynnik dokładności $Cpk = 3,26$ dla głębokość rdzenia chropowatości Sk . Z kolei jego wartość dla tulei cylindrowej *slide*, jest znacznie korzystniejsza i wynosi $Cpk = 5,87$. Rezultaty wynikają z zastosowania zwiększonej liczby oselek, poprawy ich położenia kąтового na obwodzie głowicy i doboru odpowiedniej długości. Wprowadzone zatrzymanie ruchu głowicy w punktach zwrotnych zewnętrznych polepszyło ukierunkowanie skrzyżowania topografii na całej powierzchni wewnętrznej cylindra. Zwiększenie prędkości skrawania oraz liczby wrzecion zwiększyło wydajność procesu i zmniejszyło dynamikę zmiany siły skrawania oraz możliwość wystąpienia drgań.

LITERATURA

- Budzyński A.F. „Badania teoretyczne i doświadczalne procesu elektrochemicznego honowania (ECM)”. Bydgoszcz: Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, 1982.
- Buj-Corral I., Vivancos-Calvet J. „Roughness variability in the honing process of steel cylinders with CBN metal bonded tools”. *Precis Eng.* Vol. 35, No. 2 (2011): pp. 289-293.
- 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.
- Grabon W., Pawlus P., Sep J. „Tribological characteristics of one-process and two-process cylinder liner honed surfaces under reciprocating sliding conditions”. *Tribol Int.* Vol. 43, No. 10 (2010): pp. 1882-1892.
- Lawrence K.D., Ramamoorthy B. „Multi-surface topography targeted plateau honing for the processing of cylinder liner surfaces of automotive engines”. *Appl Surf Sci.* Vol. 365 (2016): pp. 19-30.
- Mezghani S., Demirci I., Yousfi M., El Mansori M. „Running-in wear modeling of honed surface for combustion engine cylinder liners”. *Wear.* Vol. 302, No. 12 (2013): pp. 1360-1369.
- Pawlus P., Cieślak T., Mathia T. „The study of cylinder liner plateau honing process”. *J Mater Process Tech.* Vol. 209, No. 20 (2009): pp. 6078-6086.
- PN-EN ISO 25178-2:2012. Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 2: Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- Ściegienna R. „Teoretyczne i doświadczalne podstawy mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi”. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2012.
- Żebrowski H. „Nowe możliwości pomiaru cylindrów i tłoków silników spalinowych”. *Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej. Konferencje.* T. 79, nr 37 (2001): pp. 21-34.
- Yousfi M., Mezghani S., Demirci I., El Mansori M. „Smoothness and plateau contributions to the running-in friction and wear of stratified helical slide and plateau honed cylinder liners”. *Wear.* Vol. 332-333 (2015): pp. 1238-1247.