

The state and developmental tendencies of smoothing process of combustion engines elements

Abstract: The article presents the possibility of obtaining by micro-smoothing with the foil abrasive tapes the very smooth surfaces of combustion engines elements. There was presented the review of possible to working combustion engines elements with this method as well as the specialized belt smoothing machines of world firms. There are introduced the prototypes, designed by the authors, of modern heads to micro-smoothing of external surfaces as well as the unique heads to micro-smoothing of internal cylindrical surfaces. The results of own laboratory researches of multi-treatment micro-smoothing process of steel and ceramic rolls are presented. There are given technological directions enabling to choose the foil abrasive tapes and to develop a technological process, enabling to obtain assumed, the highest, quality of worked surface with minimum worn surfaces of used tapes and large efficiency of processing. There are shown topographies of surface of rolls made from zirconium ceramics before and after micro-smoothing, with very low final roughness $Ra \leq 0,02 \mu m$.

Key words: the micro-finishing, superfinish, micro-smoothing, foil abrasive tapes, machine tools to micro-smoothing, the heads to micro-smoothing, e elements of engines

Stan i tendencje rozwojowe gładkościowej obróbki elementów silników spalinowych

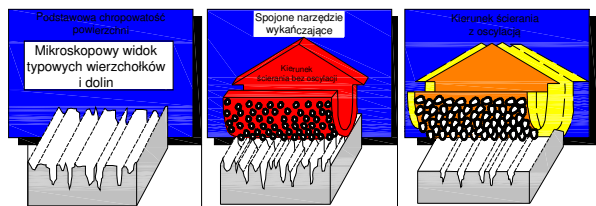
Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwości uzyskania bardzo gładkich powierzchni elementów silników spalinowych poprzez mikrowygładzanie foliowymi taśmami ściernymi. Zaprezentowano przegląd możliwych do obrobienia tą metodą elementów silników spalinowych oraz specjalizowane mikrowygładzarki taśmowe światowych firm. Przedstawiono prototypy zaprojektowanych przez autorów nowoczesnych głowic do mikrowygładzania powierzchni zewnętrznych oraz unikatowych głowic do mikrowygładzania wewnętrznych powierzchni walcowych. Zaprezentowano wyniki własnych badań laboratoryjnych procesu wielozabiegowego mikrowygładzania wałków stalowych i ceramicznych. Podano wskazania technologiczne umożliwiające dobranie zbioru foliowych taśm ściernych i opracowania procesu technologicznego, umożliwiającego uzyskanie zakładanej, najwyższej, jakości powierzchni obrobionej przy minimalnych powierzchniach zużytych taśm i dużej wydajności obróbki. Przedstawiono topografie powierzchni wałków wykonanych z ceramiki cyrkonowej przed i po mikrowygładzaniu, o bardzo niskiej chropowatości końcowej $Ra \leq 0,02 \mu m$.

Słowa kluczowe: microfinishing, superfinish, mikrowygładzanie, dogładzanie, foliowe taśmy ściernie, obrabiarki do mikrowygładzania, głowice do mikrowygładzania, elementy silników spalinowych

1. Wstęp

Metoda mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi polega na ciągłym, powolnym wprowadzaniu taśmy w strefę obróbki. Główny ruch roboczy z dużą prędkością wykonuje przedmiot obrabiany albo niekiedy głowica. Ziarna ściernie taśmy wchodzi w strefę obróbki tylko jeden raz, co jest cechą metody. Taśma wynosi w przestrzeniach międzyziarnowych produkty obróbki ze strefy i jest nawijana na rolkę folii zużytej, zapewniając czystość powierzchni obrobionej i brak jej „zbrojenia” ścierniwem, które objawia się utwierdzeniem pojedynczych, wykruszonych ziaren ściernych w warstwie wierzchniej. Możliwa jest obróbka elementów z różnorodnych materiałów jak:

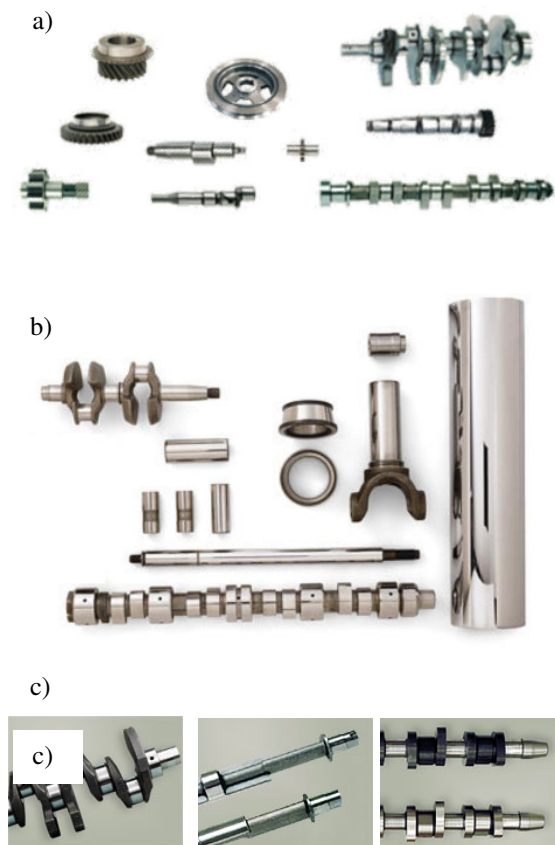
twardego chromu (powłoki), węgla wolframu, węglików spiekanych, aluminium, miedzi, gumy ceramiki, tworzyw sztucznych oraz stopów niklu. Mikrowygładzanie powierzchni za pomocą foliowych taśm ściernych (nazywane także w literaturze superfinish lub microfinishing) wyznaczyło nową erę w precyzyjnej obróbce. Efektem mikrowygładzania jest najwyższa jakość obrobionej powierzchni i krótkie czasy obróbki [8, 9]. Na rysunku 1 pokazano porównanie sposobów uzyskiwania topografii powierzchni oraz efektów szlifowania taśmą ścierną i mikrowygładzania FTS, które pozwala uzyskiwać powierzchnie o większej gładkości i nośności.



Rys. 1. Porównanie efektów szlifowania i mikro-wygładzania (na podstawie [14])

2. Elementy silników z powierzchniami bardzo gładkimi

W referacie zaprezentowano zbiór elementów silników spalinowych, których powierzchnie są lub mogą być obrabiane gładkościami omawianymi metodami. Na rysunku 2 przedstawiono zróżnicowane zbiory elementów prezentowane przez firmy 3M i Supfina. W zbiorach tych znajdują się wały korbowe, wałki rozrządu, wałki mimośrodowe, wałki z uzębieniami obwodowymi oraz wzdłużnymi, tłoczyska, sworznie tłokowe, zawory ssące i wydechowe, kola zębate, pierścienie łożyskowe i inne. Bardzo gładkie powierzchnie tych elementów to czopy walcowe, powierzchnie zewnętrzne walcowe i stożkowe o chropowatości Ra zawierającej się w przedziale 0,01 do 0,1 μm .

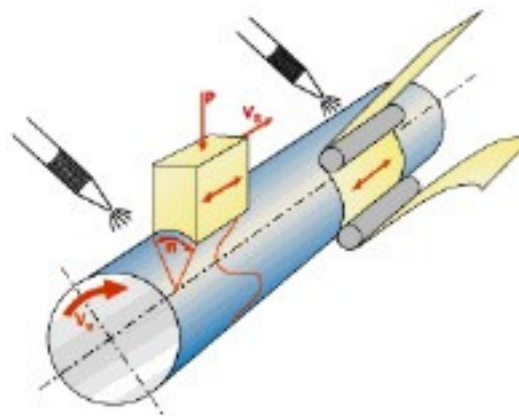


Rys. 2. Elementy silników z powierzchniami bardzo gładkimi a, c) według firmy Supfina [13], b) według firmy 3M [9]

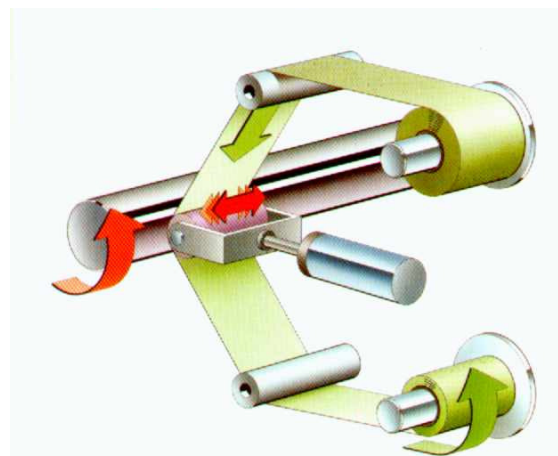
3. Metody mikro-wygładzania FTS

Na rysunkach 3-9 pokazano schematy metod mikro-wygładzania zewnętrznych elementów walcowych FTS.

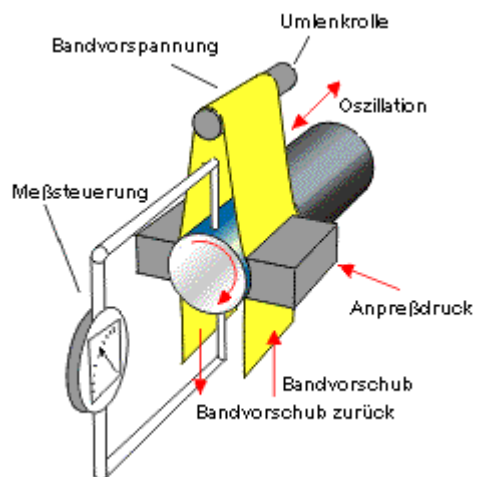
Wspólną cechą tych metod jest to, że taśma ścierna przesuwana się z prędkością od 500 do 1000 razy mniejszą od prędkości przedmiotu obrabianego. W metodach przedstawionych na rysunkach 5 i 7 taśma jest nieruchoma podczas obróbki, a przesuwana jest w przerwach technologicznych, niezbędnych na wymianę przedmiotu obrabianego.



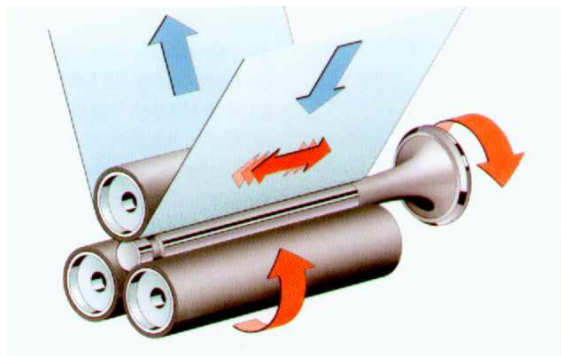
Rys. 3. Schemat metody mikro-wygładzania ośką ścierną i FTS [13]



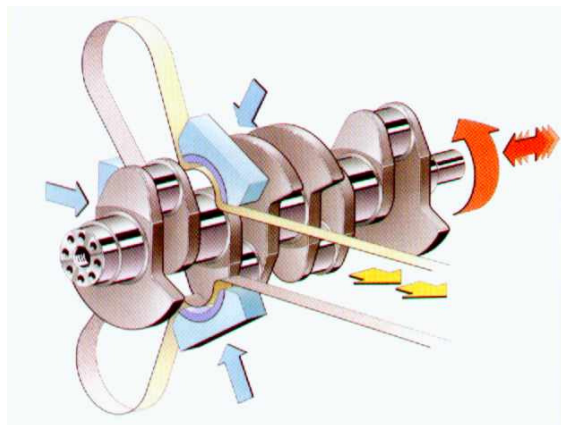
Rys. 4. Schemat metody mikro-wygładzania wałka FTS [13]



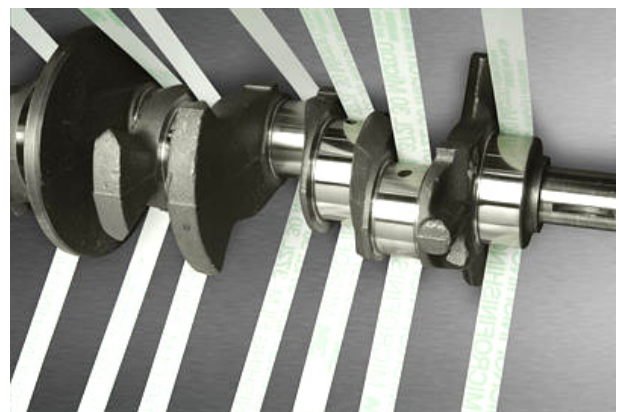
Rys. 5. Schemat metody mikrowygładzania wałka FTS [13, 14]



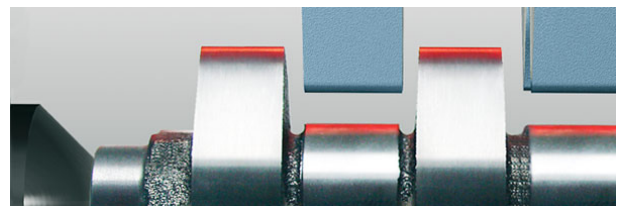
Rys. 6. Schemat metody bezkłowej mikrowygładzania wałka FTS [13]



Rys. 7. Schemat metody mikrowygładzania czopa wału korbowego FTS [13]



Rys. 8. Schemat metody mikrowygładzania czopów wału korbowego FTS [9]



Rys. 9. Schemat metody mikrowygładzania czopów wału rozrządu FTS [13]

4. Obrabiarki do mikrowygładzania

W referacie pokazano wybrane, specjalizowane mikrowygładzarki taśmowe światowych firm do realizacji procesów mikrowygładzania powierzchni FTS. Fotografia na rysunku 10 pokazuje kłową mikrowygładzarkę taśmową do wałków, a na rysunku 11 – bezkłową mikrowygładzarkę taśmową do trzonek zaworów. Są to nowoczesne obrabiarki, często z komputerowym sterowaniem cyklem obróbki [11, 13].



Rys. 10. Fotografia obrabiarki do mikrowygładzania powierzchni walcowych FTS [13, 14]



Rys. 11. Fotografia strefy obróbki podczas bezkłowego mikrowygładzania powierzchni trzonek zaworów silników spalinowych FTS [11]

4. Głowice do mikrowygładzania

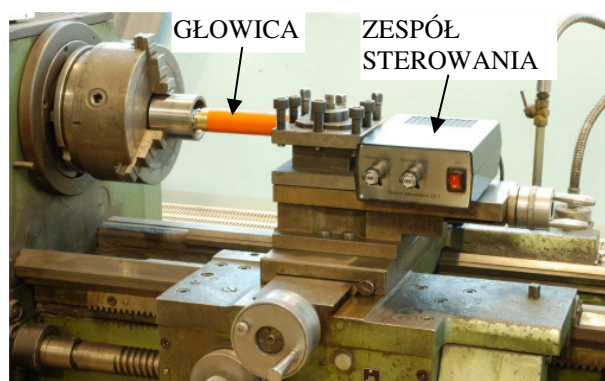
Na rysunkach 12-16 przedstawiono zaprojektowane przez autorów referatu i zbudowane w postaci prototypów, nowoczesne głowice do mikrowygładzania powierzchni zewnętrznych oraz unikatowe głowice do mikrowygładzania wewnętrznych powierzchni walcowych. Głowice te pokazano również na stanowiskach obróbkowych.



Rys. 12. Głowica typu GW-1 do mikrowygładzania zewnętrznych powierzchni walcowych foliowymi taśmami ściernymi [1, 3]



Rys. 13. Głowice do oscylacyjnego mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi z zespołami sterowania ZS-1, typu GO-2 [2, 3]



Rys. 14. Widok stanowiska obróbkowego z głowicą do mikrowygładzania otworów GO-1 i zespołem sterowania ZS-1 [2, 3, 4, 5]



Rys. 15. Głowica do oscylacyjnego mikrowygładzania nieobrotowych cylindrów foliowymi taśmami ściernymi, typu GO-4 [2, 3]



Rys. 16. Widok stanowiska obróbkowego z głowicą do mikrowygładzania oscylacyjnego cylindrów, typu GO-4 [2, 3, 4, 5]

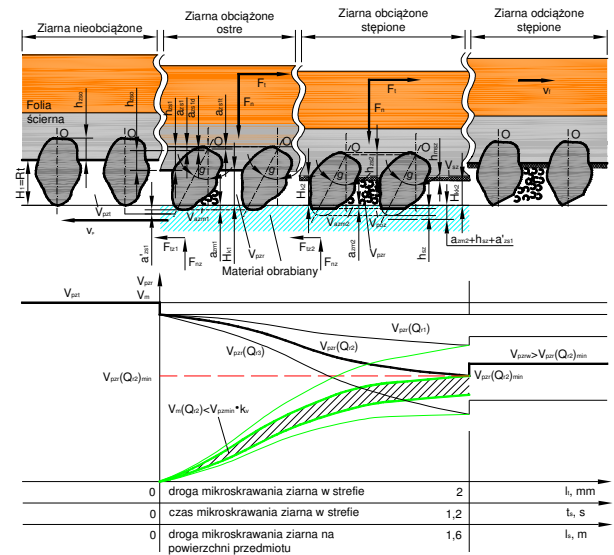
5. Podstawy opracowania efektywnego procesu technologicznego mikrowygładzania FTS

Efektywne i ekonomiczne zastosowanie FTS zależy od umiejętnego i właściwego zaprojektowania procesu technologicznego mikrowygładzania.

W rozdziale podano wskazania technologiczne umożliwiające dobranie zbioru foliowych taśm ściernych i takie opracowanie procesu technologicznego, aby uzyskać zakładaną, najwyższą, ja-

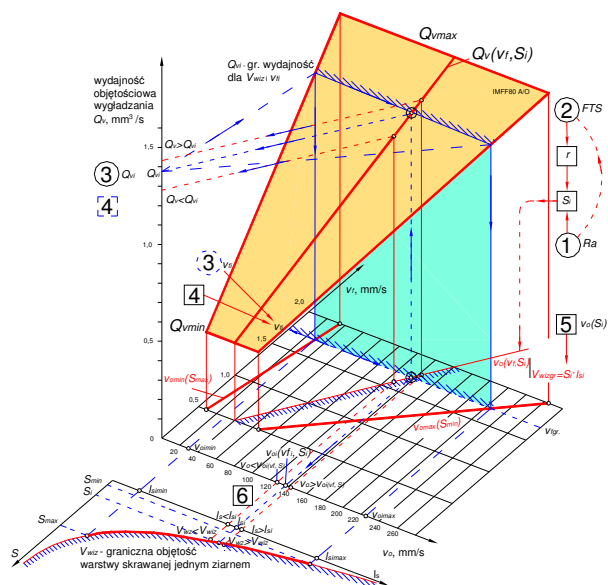
kość powierzchni obrabianej przy minimalnych powierzchniach zużytych taśm i dużej wydajności obróbki.

Na rysunku 17 pokazano schemat taśmy z ziarnami ściernymi kontaktującymi się z materiałem obrabianym oraz zmiany pojemności V_{pZr} dla materiałów o zróżnicowanych granicach plastyczności O_r oraz dopuszczalne zmiany objętości materiału obrabianego V_m wzdłuż drogi obróbki i w czasie obróbki. Zmieniająca się w czasie pracy taśmy pojemność przestrzeni międzyziarnowych jest podstawą do wyznaczenia powierzchni taśmy przeznaczonej do usunięcia określonej objętości materiału mikronierówności. Taśmę uważa się za zużytą jeśli wypełnione są jej przestrzenie międzyziarnowe.



Rys. 17. Schemat taśmy z ziarnami ściernymi kontaktującymi się z materiałem obrabianym oraz zmiany pojemności V_{pZr} dla materiałów o zróżnicowanych granicach plastyczności O_r oraz dopuszczalne zmiany objętości materiału obrabianego V_m wzdłuż drogi obróbki i w czasie obróbki [8]

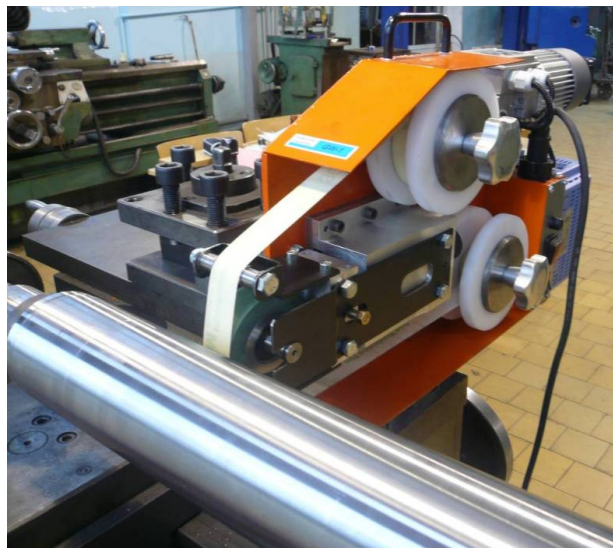
Na rysunku 18 pokazano schemat do ilustracji metody doboru prędkości przesuwu taśmy v_f i prędkości obwodowej przedmiotu v_o , zapewniających maksymalizację wydajności objętościowej i wykorzystanie potencjału obróbkowego folii ścierniej (dla przekrojów warstw skrawanych od S_{min} do S_{max} , dla taśm IMFF o szerokości 25 mm i wymiarach ziaren z elektrokorundu 80 μ m)



Rys. 18. Schemat do ilustracji metody doboru prędkości przesuwu taśmy v_f i prędkości obwodowej przedmiotu v_o [8]

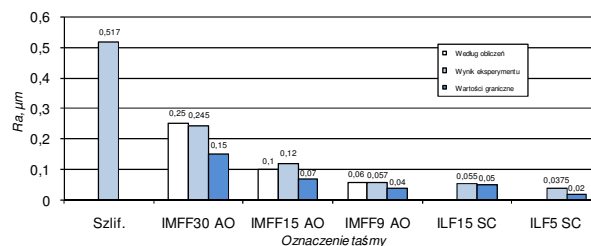
6. Efekty mikrowygładzania wałków stalowych

Rysunek 19 przedstawia stanowisko obróbkowe do mikrowygładzania zewnętrznej powierzchni walcowej FTS z zastosowaniem głowicy GW-1.



Rys. 19. Mikrowygładzanie powierzchni walcowej foliową taśmą ścierną z zastosowaniem głowicy GW-1 [1]

Na rysunku 20 zaprezentowano wyniki własnych badań laboratoryjnych procesu wielozabiegowego mikrowygładzania stalowych wałków, które potwierdzają możliwości uzyskiwania powierzchni o wysokiej gładkości i jednorodnej topografii. Na wykresie przedstawiono wartości zakładane, uzyskane z eksperymentu i możliwe do uzyskania w przyjętych warunkach obróbki. Eksperyment wykazał bardzo dużą zgodność wyników zakładanych i otrzymanych.



Rys. 20. Porównanie zakładanych, uzyskanych i granicznych parametrów chropowatości powierzchni wałka po zabiegach mikrowygładzania FTS głowicą GW-1 dla stali 45, 40HRC [1]

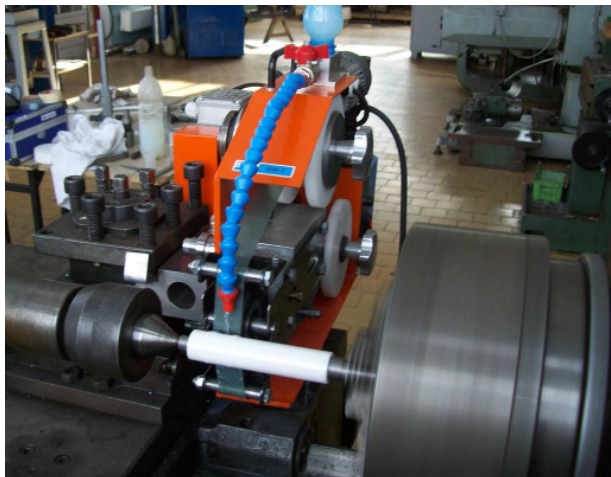
W prezentowanym eksperymencie uzyskano powierzchnie o chropowatości $Ra=0,0375 \mu m$ po zakończeniu procesu mikrowygładzania taśmą o wielkości ziarna $5 \mu m$, a chropowatości możliwe do uzyskania w danych warunkach określono na $Ra=0,02 \mu m$. Minimalne wymiary ziaren w produkowanych taśmach wynoszą nawet poniżej $1 \mu m$, co stwarza możliwość uzyskania znacznie bardziej gładkich powierzchni. Autorzy dysponują opracowanym algorytmem pozwalającym określić przewidywana chropowatość powierzchni obrabianej wybraną taśmą.

7. Efekty mikrowygładzania powierzchni wałków ceramicznych

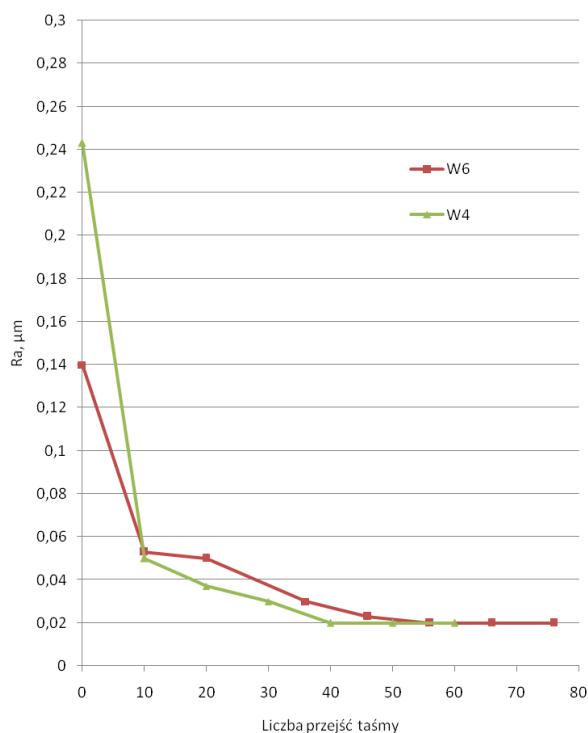
Tendencja do wprowadzania w silnikach spalinywych precyzyjnych elementów z materiałów niemetalowych [7], wywołuje potrzebę opracowania nowych sposobów ich obróbki. Ceramika techniczna, z uwagi na bardzo wysoką twardość i kruchość, wymaga stosowania specyficznych (różnych niż dla stali) warunków i narzędzi dla jej obróbki, szczególnie gładkościowej.

W dalszej części opisano efekty laboratoryjnych badań wykończeniowego mikrowygładzania po-

wierzchni wałków wykonanych z ceramiki cyrkonowej [10] foliowymi taśmami ściernymi zawierającymi ziarna diamentowe. Na rysunku 21 pokazano mikrowygładzanie powierzchni ceramicznego wałka foliową taśmą ścierną z zastosowaniem głowicy GW-1.



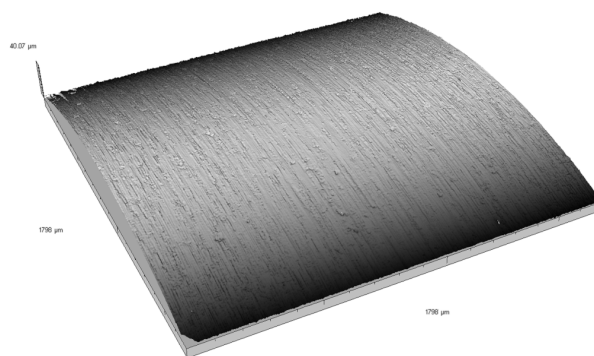
Rys. 21. Mikrowygładzanie powierzchni ceramicznego wałka foliową taśmą ścierną z zastosowaniem głowicy GW-1 [6]



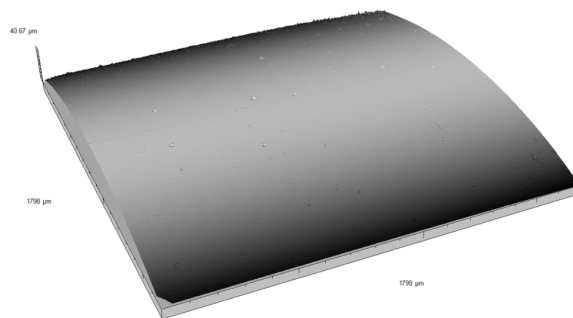
Rys. 22. Wartości parametru chropowatości powierzchni Ra wałków oznaczonych W4 i W6, z ceramiki cyrkonowej po zabiegach mikrowygładzania FTS z ziarnami diamentowymi [6]

Rysunek 22 pokazuje przykładowe wartości parametru chropowatości powierzchni Ra wałków ceramicznych po zabiegach mikrowygładzania FTS z ziarnami diamentowymi.

Topografię powierzchni wałków wykonanych z ceramiki cyrkonowej przed mikrowygładzaniem ($Ra=0,14 \mu\text{m}$) przedstawiono na rysunku 23, a powierzchnię po mikrowygładzaniu, o bardzo niskiej chropowatości końcowej $Ra \leq 0,02 \mu\text{m}$, przedstawiono na rysunku 24. Poza bardzo wysoką gładkością uzyskano także refleksyjność powierzchni.



Rys. 23. Profilogram powierzchni szlifowanej wałka ceramicznego W6 o $Ra=0,14 \mu\text{m}$ [6]



Rys. 24. Profilogram 3D powierzchni wałka ceramicznego po sekwencyjnym mikrowygładzaniu foliowymi taśmami ściernymi typu IDLF, o chropowatości $Ra=0,02 \mu\text{m}$ [6]

8. Wnioski

W referacie przedstawiono możliwości uzyskania ultra gładkich powierzchni elementów silników spalinowych poprzez mikrowygładzanie foliowymi taśmami ściernymi.

Zaprezentowane elementy silników spalinowych mają powierzchnie czynne bardzo starannie obrobione FTS. Metody mikrowygładzania powierzchni FTS mogą być bardzo zróżnicowane i są każdorazowo dobierane do rodzaju obrabianego materiału i przedmiotu. Światowe firmy budują specjalizowane mikrowygładzarki taśmowe. Prototypy nowoczesnych głowic do mikrowygładzania powierzchni zewnętrznych oraz unikatowe głowice do mikrowygładzania wewnętrznych powierzchni walcowych zaprojektowane przez autorów, przeznaczone do instalowania na tokarkach uniwersalnych i frezarkach pionowych, spełniły swoje funkcje w warunkach laboratoryjnych.

Wyniki badań laboratoryjnych procesu wielozabiegowego mikrowygładzania stalowych wałków, potwierdzają możliwości uzyskiwania powierzchni o bardzo niskiej chropowatości końcowej $Ra \leq 0,02 \mu\text{m}$ i jednorodnej topografii.

Zaprezentowana w referacie metoda wykończeniowego wielozabiegowego mikrowygładzania powierzchni wałków z ceramiki cyrkonowej, z zastosowaniem foliowych taśm ściernych z ziarnami diamentowymi IDLF i nowej konstrukcji głowicy do wałków oraz wyniki badań laboratoryjnych procesu mikrowygładzania, potwierdzają możliwość uzyskiwania powierzchni o bardzo wysokiej gładkości i jednorodnej topografii, w tym uzyskanie powierzchni lustrzanych, o bardzo niskiej chropowatości końcowej $Ra \leq 0,01 \mu\text{m}$. Koszty narzędziowe mikrowygładzania ceramiki są znaczne i wynikają z wysokich kosztów jednostkowych taśm, przez co obróbka ta powinna być realizowana w zastosowaniach specjalnych. Zmniejszenie tych kosztów możliwe jest przez minimalizację liczby i powierzchni użytych taśm w procesach wielozabiegowego mikrowygładzania.

Podane w referacie wskazania technologiczne są pomocne w dobraniu zbioru foliowych taśm ściernych i opracowaniu procesu technologicznego, umożliwiającego uzyskanie zakładanej, najwyższej, jakości powierzchni obrobionej przy minimalnych powierzchniach zużytych taśm i dużej wydajności obróbki.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

FTS Foliowe Taśmy Ściernie / *foil abrasive tapes*

IMFF Imperial Microfinishing Film / *folia ścierna do mikrowygładzania*

ILF Imperial Lapping Film / *folia ścierna do docierania*

IDLF Imperial Diamond Lapping Film / *folia ścierna do docierania z ziarnami diamentowymi*

Bibliography/Literatura

[1] Lewkowicz R., Kacalak W., Ściegienka R., Charkiewicz L., Bokiej S., Kasprzyk M.: Głowica nowej konstrukcji do mikrowygładzania powierzchni zewnętrznych foliowymi taśmami ściernymi i wybrane efekty jej stosowania. Współczesne problemy obróbki ścierniej pod redakcją J. Plichty. Materiały XXXII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej. Koszalin-Darłowo, 2-4.09.2009.

[2] Lewkowicz R., Kacalak W., Ściegienka R., Charkiewicz L., Bokiej S., Kasprzyk M.: Głowice nowej konstrukcji do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi wybrane efekty ich stosowania. Współczesne proble-

my obróbki ścierniej pod redakcją J. Plichty. Materiały XXXII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej. Koszalin-Darłowo, 2-4.09.2009

[3] Lewkowicz R., Kacalak W., Ściegienka R., Bałasz B.: The new methods and heads for precision microfinishing with application of microfinishing films. Materiały 5th International Congress on Precision Machining. ICPM 2009. September 15-19th 2009, Stará Lesná – Slovakia.

[4] Lewkowicz R., Ściegienka R.: Nowoczesne metody obróbki super gładkich powierzchni precyzyjnych elementów samochodów. Materiały XI Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego „SYMROZ’2009”, Szczecin 2009.

-
- [5] Lewkowicz R., Ściegienka R., Piątkowski P. Bałasz B.: Modern methods of microfinishing super-smooth surfaces of car engines and suspensions parts. Logistyka nr 6/2009.
- [6] Lewkowicz R., Kacalak W., Ściegienka R.: Wykończeniowe mikrowygładzanie super gładkich powierzchni elementów ceramicznych. Podstawy i technika obróbki ściernej pod redakcją Andrzeja Gołąbczaka i Bogdana Kruszyńskiego. Materiały XXXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej. Łódź, 8-10.09.2010.
- [7] Pampuch R.: Współczesne materiały ceramiczne. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków 2005.
- [8] Ściegienka R., Kacalak W.: Podstawy doboru parametrów i warunków procesu mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ścier-

nymi. Współczesne problemy obróbki ściernej pod redakcją J. Plichty. Materiały XXXII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej. Koszalin-Darłówek, 2-4.09.2009.

- [9] <http://www.ussupplyinc.com/products/3m.html>.
- [10] www.cerel.pl/tworzywa.html.
- [11] <http://www.gem-usa.com/>.
- [12] <http://www.loeser.com/UK/products/superfin/super02.htm>.
- [13] <http://www.supfina.com/FR/142.htm>.
- [14] Prospekty firm 3M, GEM, LÖSER, SUPFINA.

Mr Ryszard Lewkowicz, DSc., DEng.
– Professor in the Faculty of Mechanical Engineering at Koszalin University of Technology.

Dr hab. inż. Ryszard Lewkowicz – profesor na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.



Mr Ryszard Ściegienka, DEng. – Specialist in the Faculty of Mechanical Engineering at Koszalin University of Technology.

Dr inż. Ryszard Ściegienka – specjalista na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.



Mr Piotr Piątkowski, DEng. – Professor assistant in the Faculty of Mechanical Engineering at Koszalin University of Technology.

Dr inż. Piotr Piątkowski – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.

