

Wojciech NAPADŁEK¹
Piotr BALICKI²

TEKSTUROWANIE LASEROWE WARSTWY WIERZCHNIEJ PIERŚCIENI TŁOKOWYCH SILNIKA SPALINOWEGO

W artykule zaprezentowano rozważania dotyczące współpracy elementów skojarzenia tłok – tuleja – pierścienie tłokowe (T-P-C) w aspekcie poprawy ich własności tribologicznych. Wykorzystując ablacyjną mikroobróbkę laserową przeprowadzono teksturowanie powierzchni czołowej i bocznej pierścienia tłokowego, wytwarzając charakterystyczne mikrozasobniki olejowe. Przedstawiono wstępne wyniki badań własnych w zakresie teksturowania warstwy powierzchniowej. Badania wstępne mające na celu poprawę własności tribologicznych skojarzenia (T-P-C) obejmowały: dobór najlepszych parametrów mikroobróbki laserowej, badania topografii powierzchni, twardości oraz składu chemicznego w mikroobszarach.

LASER TEXTURING (TOPOGRAPHY SHAPING) OF THE SURFACE LAYER OF THE PISTON RINGS IN THE COMBUSTION ENGINE

This paper presents piston – brush – piston rings association interaction (TPC) in the aspect of tribological characteristics improvement. Laser micro-treatment and its ablation were applied in oil micro-containers manufacturing on the butting face and lateral surface of a piston ring. Preliminary own experimental studies in the field of surface topography shaping were presented. Preliminary tests included: selection of optimum parameters of laser processing, measurement and analysis on surface topography, hardness and chemical constitution in microvolumes.

1. WSTĘP

W wielu aplikacjach technologicznych istnieje rosnące zapotrzebowanie na wysoko wydajne układy smarowane przez media (np. wodę, olej lub paliwa). W przypadku ograniczonego smarowania pary tribologicznej, pojawia się wysokie tarcie pomiędzy współpracującymi powierzchniami z powodu miejscowego przerwania filmu smarowego.

¹ dr inż. Wojciech NAPADŁEK, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, tel. (0-22) 683-73-57, tel/fax 683-76-02, e-mail: wnapadlek@wat.edu.pl

² mgr inż. Piotr BALICKI, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: balicki@wat.edu.pl

Wydajność systemu tribologicznego można poprawić poprzez dobór odpowiednich materiałów na elementy skojarzeń, z optymalizacją topografii powierzchni, zastąpienie idealnie gładkiej powierzchni powierzchnią z wytworzoną teksturą. Do procesów teksturowania warstwy powierzchniowej (WP) elementów maszyn mogą być zastosowane m.in. metody: mechaniczne (polerowanie, docieranie, szlifowanie, obróbka ultradźwiękowa), wiązkowe (laserowa, elektronowa itp.).

Teksturowanie za pomocą ukształtowanej wiązki laserowej budzi duże zainteresowanie, ponieważ pozwala ono na wytworzenie topografii powierzchni na niemal wszystkich materiałach takich jak: metale, ceramika i szkło, kompozyty itp.

Siły tarcia jak i zużycie pary tribologicznej można zmniejszyć, wprowadzając selektywnie mikrostruktury na powierzchniach współpracującej pary tribologicznej. Z jednej strony wytworzone mikrostruktury powinny działać jak pułapki na cząstki ściernic, z drugiej strony, powinny one zapewnić dostawę czynnika smarowego działając, jako zbiorniki płynu smarującego. Przykładem tego jest czołowa i boczna powierzchnia pierścienia tłokowego uszczelniającego poddana modyfikacji laserowej.

Badania efektów teksturowania laserowego prowadzone w wielu ośrodkach na świecie, wykazały zwiększoną grubość filmu olejowego pomiędzy pierścieniem tłoka i cylindrem, a tym samym znaczne zmniejszenie intensywności zużycia współpracujących elementów. Ponadto zamknięte mikrozasobniki oleju, mogą spełniać funkcję mikrołożyska. W procesie współpracy dwóch powierzchni w mikrozasobnikach następuje ściskanie czynnika smarowego i wytwarzanie ciśnienia, skutkiem czego jest powstanie smarowania hydrostatycznego. Wytworzona laserowo mikrostruktura może pozytywnie wpływać na powstawanie hydrodynamicznego filmu olejowego. Oprócz pozytywnych efektów mikrozasobników oleju, istnieje również możliwość występowania zaburzenia hydrodynamicznego czynnika smarującego. Rodzaj tekstury powierzchni (np. półczasze, rowki), ich geometria i rozmieszczenie odgrywają bardzo istotną rolę. W większości przypadków odpowiednie powierzchnie tekstur prowadzą do poprawy właściwości tribologicznych elementów maszyn. Zoptymalizowaną teksturę (WP) można osiągnąć jedynie wtedy, gdy jest ona odpowiednio ukształtowana i dostosowana do systemów tribologicznych [1].

Aby właściwie dobrać aplikację technologiczną teksturowania laserowego dla wybranego elementu maszyny lub elementów węzła tribologicznego, należy dokładnie rozpoznać warunki pracy oraz charakter zużycia. Należy pamiętać, że w pierwszym etapie projektowania procesu należy dobrać właściwie długość fali promieniowania laserowego, gdyż wpływa ona w bardzo istotny sposób na jego absorpcyjność oraz procesy ablacji laserowej. Im mniejsza długość promieniowania, tym większa precyzja geometryczna oddziaływania, ale również mniejsza głębokość strefy oddziaływania, ze względu na mniejszą energię w impulsie oraz znacznie mniejszą głębokość wnikania w warstwę wierzchnią. Należy pamiętać także, że mniejsze długości fali promieniowania laserowego skutecznie oddziałują na tworzywa sztuczne oraz powłoki lakierowe.

W procesach technologicznych teksturowania laserowego bardzo istotnym czynnikiem jest czas oddziaływania impulsu laserowego na materiał. Przy bardzo krótkich czasach ekspozycji wiązki laserowej (czasy piko – i femtosekundowe) występuje tzw. „czysta ablacja”, ale występują również bardzo płytkie strefy wnikania promieniowania laserowego w materiał, a tym samym występują także małe strefy przemian strukturalnych. Dla takich

parametrów teksturowania laserowego można osiągnąć bardzo dobre wyniki modyfikacji warstwy wierzchniej, ale tylko w skali od nano do mikrometrycznej.

W procesie doboru parametrów teksturowania laserowego należy również zastosować właściwy rozkład gęstości mocy (np. Gaussa, top head, itp.), gdyż wpływa to w bardzo istotny sposób na kształt teksturowanej strefy oraz jednorodność oddziaływania promieniowania. Aby uzyskać oczekiwany efekt technologiczny należy dla danej długości promieniowania dobrać właściwą (optymalną) gęstość mocy promieniowania laserowego.

Aby uzyskać właściwą i powtarzalną topografię powierzchni należy zastosować w procesach teksturowania laserowego nowoczesne źródła laserowe, które zapewniają wysoką, jakość procesu. Dzięki nowoczesnym systemom optycznym oraz precyzyjnemu sterowaniu elektronicznemu (np. sterowanie CNC, głowice Galvo) uzyskuje się bardzo wysokie dokładności w skali mikro- a nawet nanometrycznej [1,4,5,7].

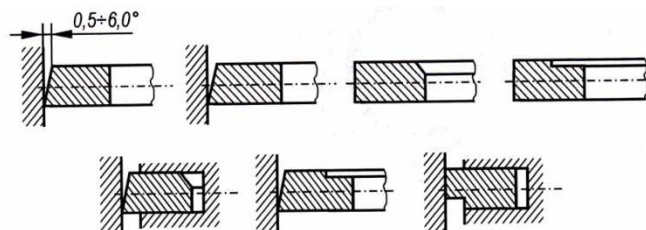
2. CHARAKTERYSTYKA PIERŚCIENI TŁOKOWYCH PODDANYCH MIKROOBRÓBCE LASEROWEJ

2.1. Konstrukcja pierścieni

Pierścienie uszczelniające, oprócz uszczelniania przestrzeni nad tłokiem, odprowadzają ciepło z denka tłoka do tulei cylindrowej. Nagrzewanie się pierścieni powoduje ich wydłużenie. W celu założenia pierścienia na tłok i zapewnienia możliwości wydłużenia cieplnego przecina się go. Luz na przecięciu, nazywany zamkiem pierścienia, powinien być w stanie zmontowanym tak duży, żeby pierścień mógł się swobodnie wydłużyć. Zbyt duży luz na zamku będzie przyczyną nadmiernego przenikania spalin do skrzyni korbowej.

Pierścienie tłokowe są znormalizowane — PN-90/S-36507. Dla określonych średnic są wykonywane pierścienie o różnych wysokościach. Wysokie pierścienie są korzystne ze względu na dobre odprowadzenie ciepła, jednakże w pewnym stopniu utrudniają naprawę tłoka. Zachowując bowiem niezmienną wysokość części pierścieniowej tłoka, półki pierścienia są niższe, co utrudnia roztoczenie rowków.

Na rysunku 1 przedstawiono przekroje typowych pierścieni uszczelniających. Najczęściej są stosowane pierścienie o przekroju prostokątnym. Pierścienie stożkowe, o bardzo małym kącie pochylenia tworzącej, szybko się docierają, a ponadto w pewnym stopniu wspomagają zgarnianie oleju z gładzi cylindrowej. Pierścienie trapezowe wykazują znacznie mniejszą skłonność do zapiekania się. Obecnie stosuje się również pierścienie ze specjalnymi sprężynami dociskającymi. Zadaniem tych sprężyn jest niedopuszczenie do zmniejszenia nacisku pierścienia, gdy straci on swą sprężystość po dłuższym okresie pracy [3, 6].



Rys. 1. Typowe przekroje pierścieni uszczelniających [2]

2.2. Materiały stosowane w produkcji pierścieni tłokowych

Podstawowym materiałem na pierścienie tłokowe zgarniające jest żeliwo o drobnoziarnistej strukturze perlityczno-sorbitycznej z licznie i równomiernie rozszanymi płatkami grafitu występującymi na tle eutektyki fosforowej. Żeliwo to musi wykazywać dostatecznie duży współczynnik przewodzenia ciepła, dużą odporność na zużycie oraz twardość w granicach 200-280 HB. Typowe żeliwo na pierścienie ma zwykle następujący skład: C – 3,6-4,0%, Si – 2,5-3,0%, Mn – 0,5-0,8%, P – 0,4-0,6%, S<0,08%. Czasami w celu uzyskania odpowiedniej drobnoziarnistości są stosowane dodatki chromu, niklu lub molibdenu. Stosowane są także żeliwa modyfikowane i sferoidalne.

Podstawowym materiałem na pierścienie uszczelniające jest stal stopowa sprężynowa. Pierścienie te mogą być azotowane gazowo lub jarzeniowo. Najczęściej powierzchnie czołową pokrywa się chromem porowatym (tzw. kanalikowym) w celu wytworzenia mikrozasobników olejowych. Pierścienie stalowe mogą mieć powierzchnię boczną pokrytą fosforanem cynkowo-żelazowym w celu zwiększenia odporności na korozję oraz poprawy współpracy w węzle tribologicznym.

Podstawowym sposobem wytwarzania pierścieni jest bądź odlewanie tulei, z których wytacza się pierścienie, bądź indywidualne odlewanie pierścieni, przy czym jedno zalanie formy daje kilkanaście lub kilkadziesiąt pojedynczych pierścieni. Pierścienie żeliwne są poddawane obróbce cieplnej, polegającej na wyżarzaniu, hartowaniu po obróbce zgrubnej w oleju i odpuszczaniu [3,6].

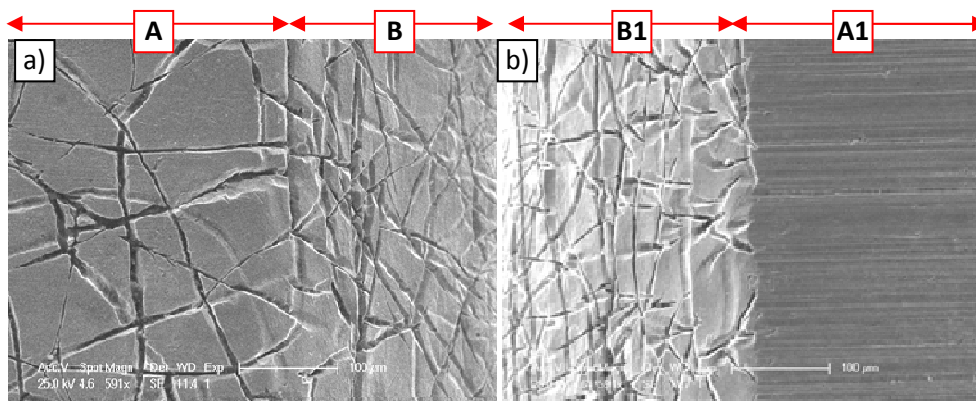
2.3. Ulepszanie powierzchni roboczej pierścieni tłokowych

Pokrycia powierzchniowe stosowane do roboczych powierzchni pierścieni tłoka mogą spełniać różne zadania. W związku z tym dzieli się je na dwie podstawowe grupy:

- powłoki mające zapewnić szybkie docieranie się pierścienia z gładzią cylindra z jednoczesnym wyeliminowaniem możliwości zatarcia;
- powłoki, których celem jest polepszenie współpracy pierścienia z gładzią cylindra podczas całego okresu eksploatacji pierścienia, co można osiągnąć albo poprzez zmniejszenie zużycia pierścieni i gładzi, albo zabezpieczenie przed możliwością powstawania zatarć.

Do pierwszej grupy powłok, zwanych też miękkimi, należy: cynowanie, fosforowanie, nasiarczanie, żelazowanie, oksydowanie, grafitowanie, trawienie. Jak widać, są to powłoki metaliczne i chemiczne. Druga grupa, zwana pokryciami twardymi, obejmuje pokrywanie pierścienia lub cylindra warstwami twardych metali lub ich stopów. Warstwy te są nakładane albo galwanicznie, albo metodą natryskową. Do drugiej grupy powinno się również zaliczyć sposoby polepszania współpracy pierścienia z gładzią cylindra, polegające na wykonywaniu na powierzchni roboczej pierścienia kanałków wypełnionych metalami lub masami niemetalicznymi odznaczającymi się dobrą współpracą z gładzią, dobrą zwilżalnością olejem, mających na celu zmniejszenie zużycia i zabezpieczenie przed zatarciem. Szerokość tych kanałków jest znacznie mniejsza od wysokości osiowej pierścienia.

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane wyniki modyfikacji laserowej pierścieni uszczelniających poddanych chromowaniu. W procesie produkcji pierścieni tłokowych stosuje się prawie wyłącznie chromowanie porowate, dzięki któremu uzyskuje się zagłębienia stanowiące zasobniki oleju. Na rysunku 2 przedstawiono zdjęcia pierścienia uszczelniającego pokrytego chromem porowatym wykonane na mikroskopie skaningowym. Mimo dużej odporności na zużycie poprzez tarcie generowane w czasie eksploatacji warstwa chromu ulega zużyciu. Zużycie to następuje bardzo wolno, a produktami zużycia są bardzo małe cząstki chromu o kształcie zbliżonym do mikro-kuli. Cząstki te, ze względu na dużą twardość warstwy chromu, nie mogą być wgniecione w powierzchnię pierścienia, a ze względu na małe wymiary nie przerywają filmu olejowego, więc dzięki temu są mniej groźne dla wszystkich powierzchni trących, a nawet mogą stanowić środek ścierny ułatwiający docieranie. Twarde cząstki chromu zostają wciśnięte w powierzchnię gładzi cylindra, co zwiększa jej trwałość i odporność na zużycie.



Rys. 2. Widok zużytej erozyjnie powierzchni czołowej stalowego pierścienia uszczelniającego z powłoką chromu porowatego kanalikowego, a) topografia powierzchni powłoki chromu porowatego w warunkach produkcyjnych, b) topografia powierzchni czołowej pierścienia zużytego erozyjnie w czasie eksploatacji, A, B - powierzchnia przed eksploatacją, A1, B1- powierzchnia po eksploatacji, SEM

Dużą zaletą chromowania pierścieni, szczególnie stosowanych w silnikach o zapłonie samoczynnym o wtrysku bezpośrednim, jest brak skłonności do odkształceń plastycznych. W pierścieniach żeliwnych poddanych dużym naprężeniom występuje zawsze skłonność do odkształceń plastycznych, które objawiają się powstawaniem zaostrzeń krawędzi pierścieni. Defekty takie niszczą film olejowy na gładzi cylindra i przyspieszają znacznie zużycie, a niekiedy prowadzą do powstawania na gładzi głębokich wzdłużnych rys. 2b. Pierścienie chromowane pracują w takich warunkach poprawnie i ich krawędzie pozostają zawsze gładkie.

Chrom źle utrzymuje na swojej powierzchni olej, w związku z tym należy dążyć do takiego ukształtowania powierzchni roboczej pierścienia, aby zapewnić powstanie zbiorników oleju. W celu zwiększenia zdolności utrzymywania oleju na powierzchni chromu, stosuje się przeważnie pokrywanie pierścieni warstwą chromu porowatego. Uzyskuje się to poprzez zmianę kierunku przepływu prądu w wannie elektrolitycznej, po osadzeniu warstwy chromu o żądanej grubości. Porowatość na powierzchni chromu można również uzyskać mechanicznie, np. przez piaskowanie.

Porowatość powierzchni chromu uzyskana elektrolitycznie może mieć różną postać, przy czym ogólnie rozróżnia się porowatość punktową i siatkową [6,3].

3. TEKSTUROWANIE WARSTWY WIERZCHNIEJ PIERŚCIENIA TŁOKOWEGO POPRZEZ WYTWARZANIE MIKROZASOBNIKÓW OLEJOWYCH

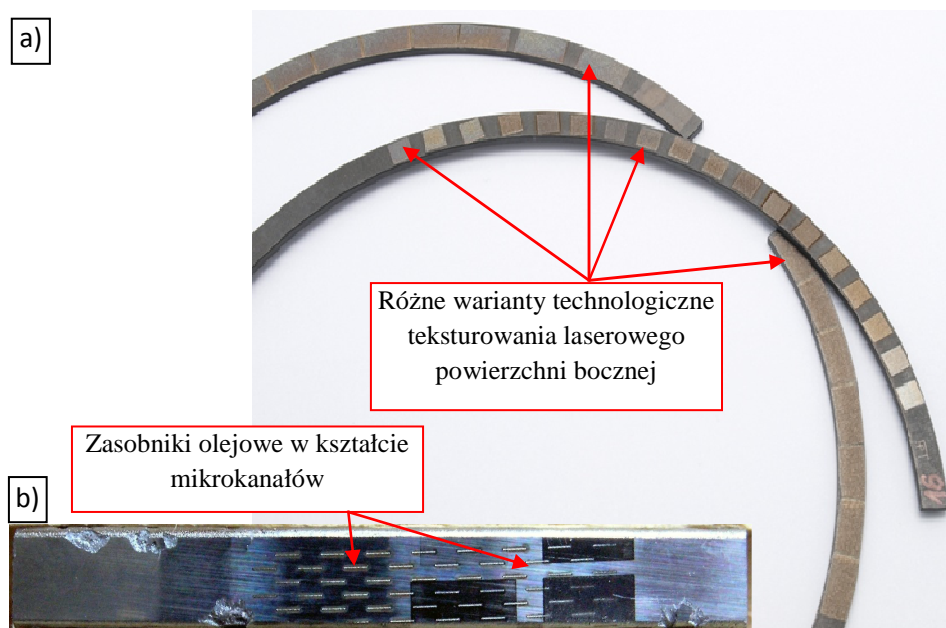
Proces teksturowania laserowego polega na wytworzeniu na powierzchni bocznej i czołowej pierścienia tłokowego mikrozasobników oleju w kształcie czasz lub mikrokanałów przy użyciu promieniowania laserowego o dużej gęstości mocy ($g \geq 10^5 - 10^9$ W/cm²). Zasobniki te stanowią zbiorniki oleju smarującego. Powinny one mieć średnicę około 30-100 μ m i głębokość ok. 10-15 μ m i wypełniać ok. 25 do 50% powierzchni. Widok pierścieni tłokowych poddanych mikroobróbce przedstawiono na rys. 3. Taka tekstura powierzchni powinna zapewnić wzrost odporności na zacieranie oraz zużycie w warunkach tarcia współpracujących elementów układu T-P-C przy niedostatku oleju smarującego. Dzięki wytworzonym mikrozasobnikom oleju, zwłaszcza w strefie czołowej pierścieni uszczelniających oczekiwać można zmniejszenia strat tarcia o kilkanaście procent a w szczególnych przypadkach nawet do kilkudziesięciu procent, ze względu na czynnik smarny (np.: olej) zgromadzony w ww. mikrozasobnikach, jeśli wystąpi ograniczone smarowanie.

W pierwszym wariantcie mikroobróbki laserowej pierścienia tłokowego wykonano mikrozasobniki olejowe w układzie z mikrokieszeniami kulistymi przy 25% wypełnienia powierzchni czołowej i bocznej pierścienia uszczelniającego (rys. 4). Topografia powierzchni pierścienia wykonana w drugim wariantcie została przedstawiona na rys. 5. Różnią się one między sobą zasadniczo układem geometrycznym mikrozasobników olejowych.

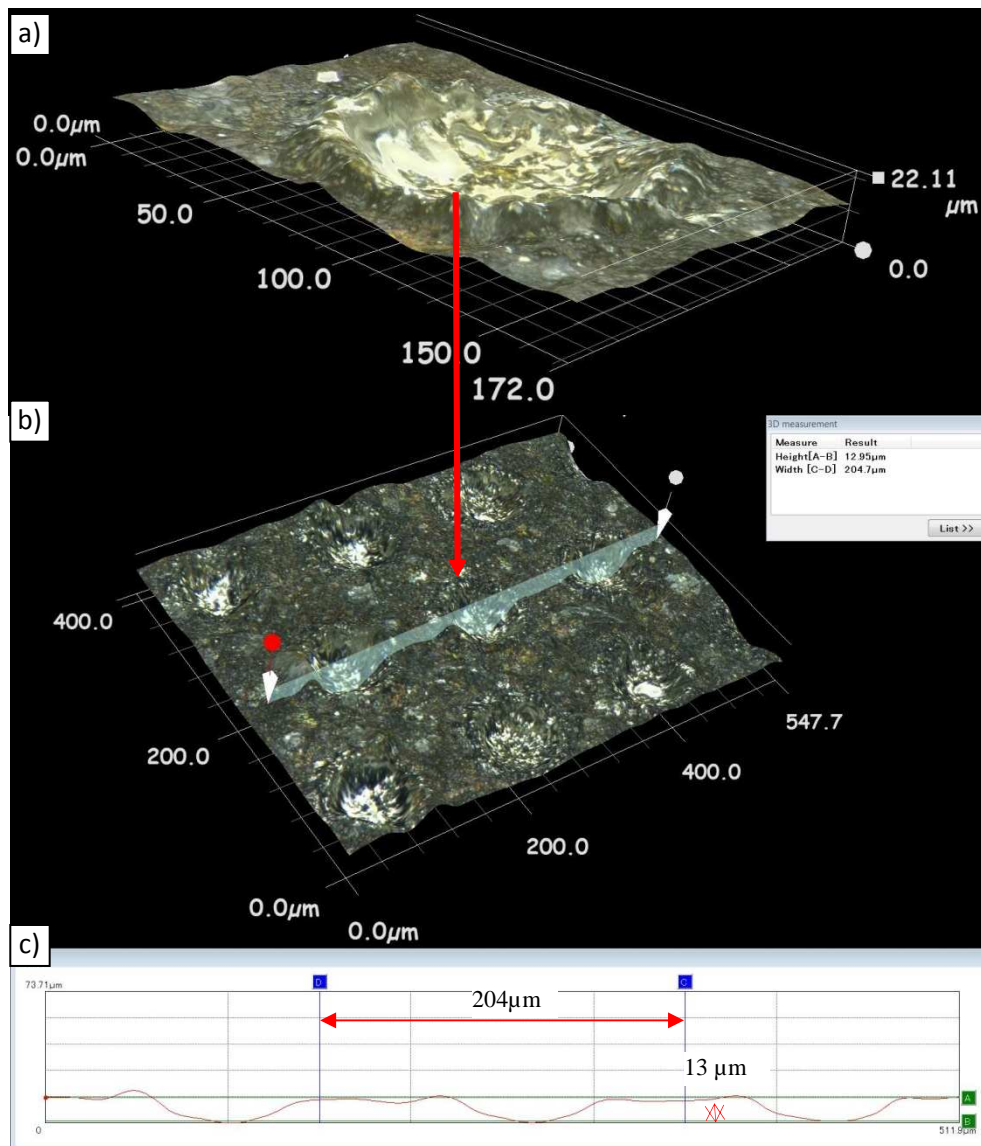
W ramach doświadczeń laboratoryjnych przeprowadzono dobór parametrów obróbki laserowej (długość fali promieniowania λ , gęstość mocy q , częstotliwość repetycji f , czas ekspozycji τ) na próbkach stanowiących wycinki z tłoków, pierścieni tłokowych, tulei cylindrowych i monobloków silnika spalinowego. Do zrealizowania celu wykorzystane zostało laboratoryjne stanowisko laserowe do modyfikacji warstwy wierzchniej elementów

układu T-P-C silnika spalinowego. Laser Nd:YAG 50W ($\lambda = 1064$ nm, praca impulsowa o częstotliwości repetycji $f = 3 \div 65$ kHz). Impulsowa modyfikacja laserowa warstwy wierzchniej elementów układu T-P-C w zakresie wytwarzania mikrozasobników olejowych przeprowadzona została na szeregu próbek pierścieni tłokowych, przy kilku różnych wariantach ustawień parametrów pracy lasera.

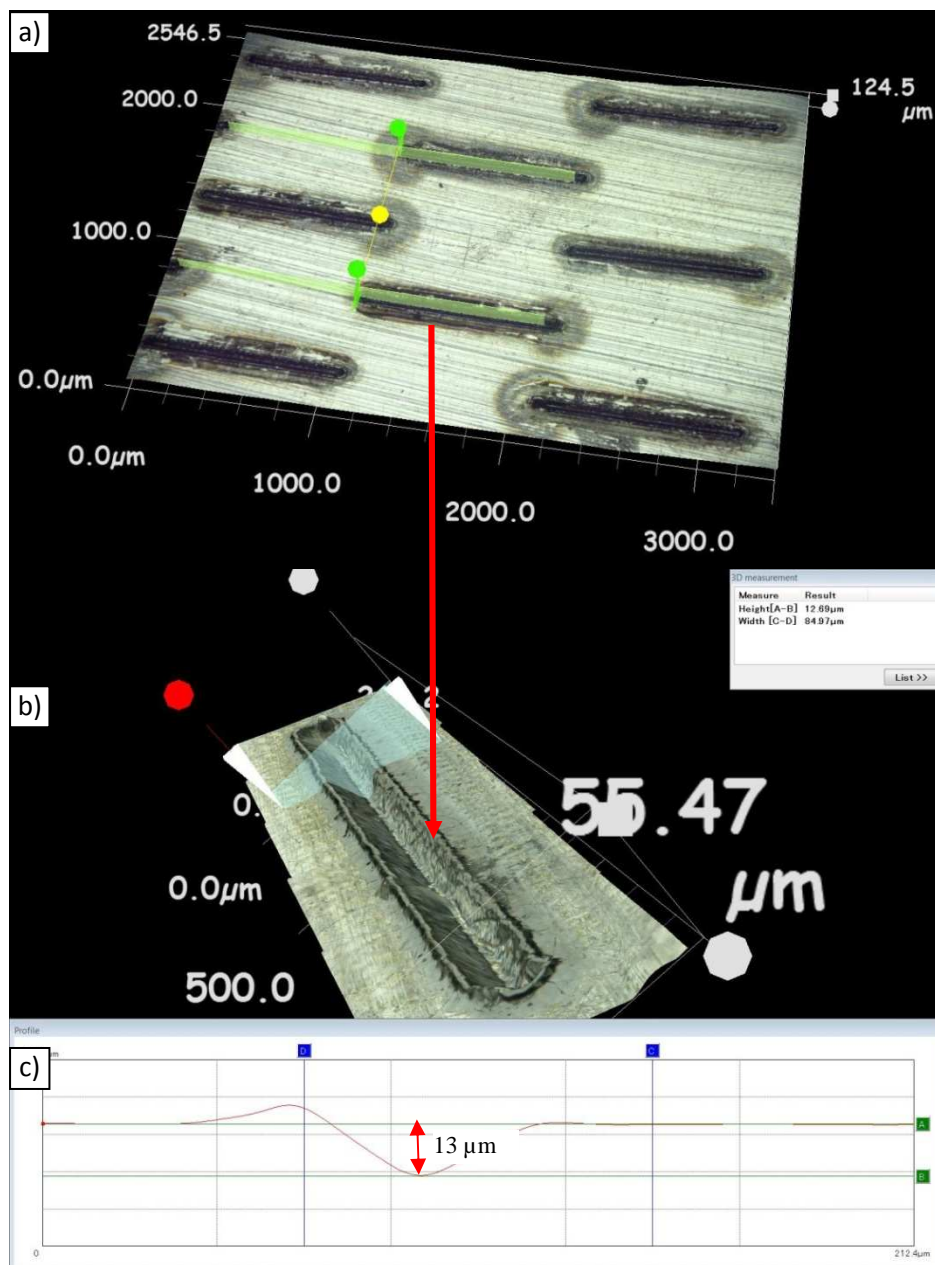
W warunkach laboratoryjnych zmodyfikowano powierzchnię boczną żeliwnego pierścienia tłokowego (rys. 3a) oraz powierzchnię czołową z powłoką chromu porowatego wytworzoną na stalowym pierścieniu uszczelniającym. W wyniku oddziaływania na materiał impulsowego promieniowania laserowego o gęstości mocy w impulsie w zakresie $0,9 \cdot 10^6 \div 2,23 \cdot 10^6$ W/cm², wytworzone zostały grupy mikrozasobników olejowych. Impulsowa mikroobrobka laserowa wykonana została przy częstotliwości repetycji $f = 3$ kHz, mocy $P = 50$ W i prędkości skanowania w zakresie 200-500 mm/s.



Rys. 3. Widok wycinków pierścieni tłokowych poddanych mikroobrobce laserowej: a) żeliwny pierścień tłokowy fosforanowany z różnymi wariantami geometrycznymi na powierzchni bocznej, b) pierścień stalowy z warstwą chromu porowatego na powierzchni czołowej z mikrokanalami olejowymi



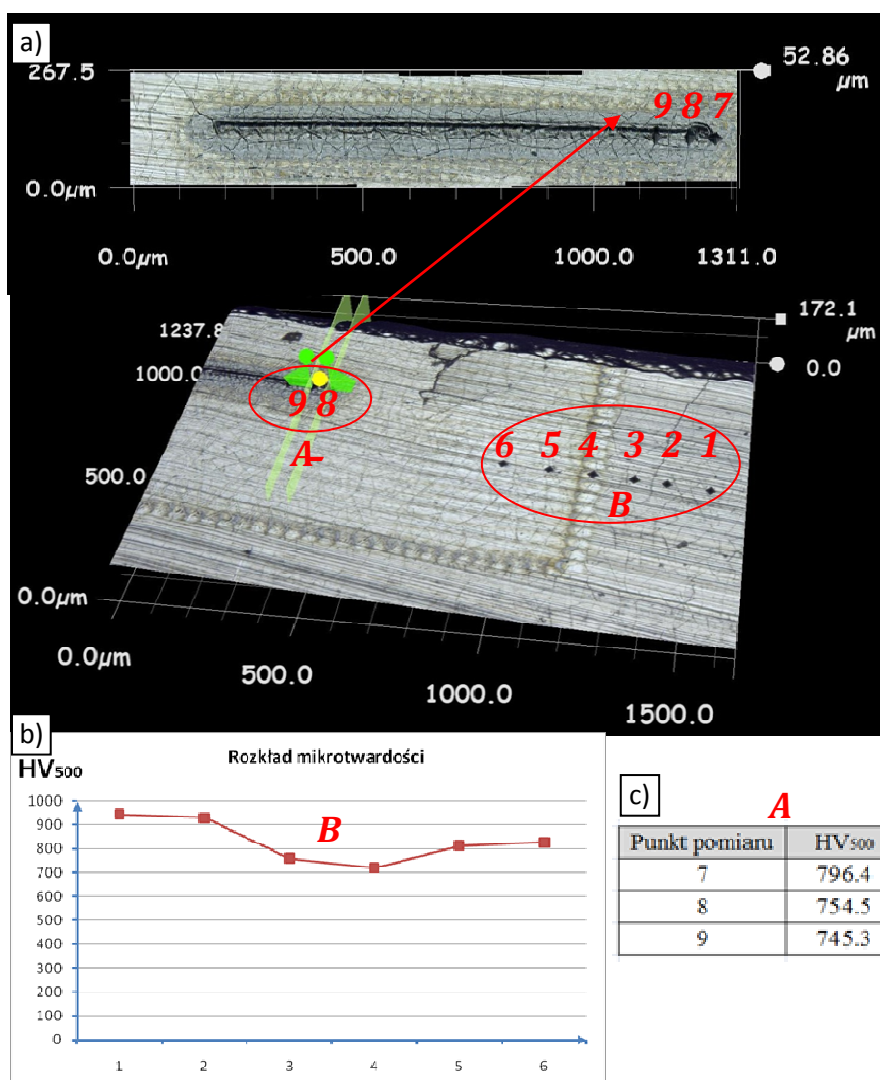
Rys. 4. Widok charakterystycznego układu mikrozasobników w kształcie czasz wykonanych na pierścieniu tłokowym: a), b) widok mikroczasz zobrażowanych na mikroskopie cyfrowym Kyence VHX 1000, c) profil powierzchni



Rys. 5. Widok charakterystycznego układu mikrozasobników oleju w kształcie mikrorowków wykonanych na powierzchni czołowej stalowego pierścienia uszczelniającego z powłoką chromu porowatego: a), b) widok mikrokanatów zobrazowanych na mikroskopie cyfrowym Kyence VHX 1000, c) profil powierzchni w strefie mikrokanatu

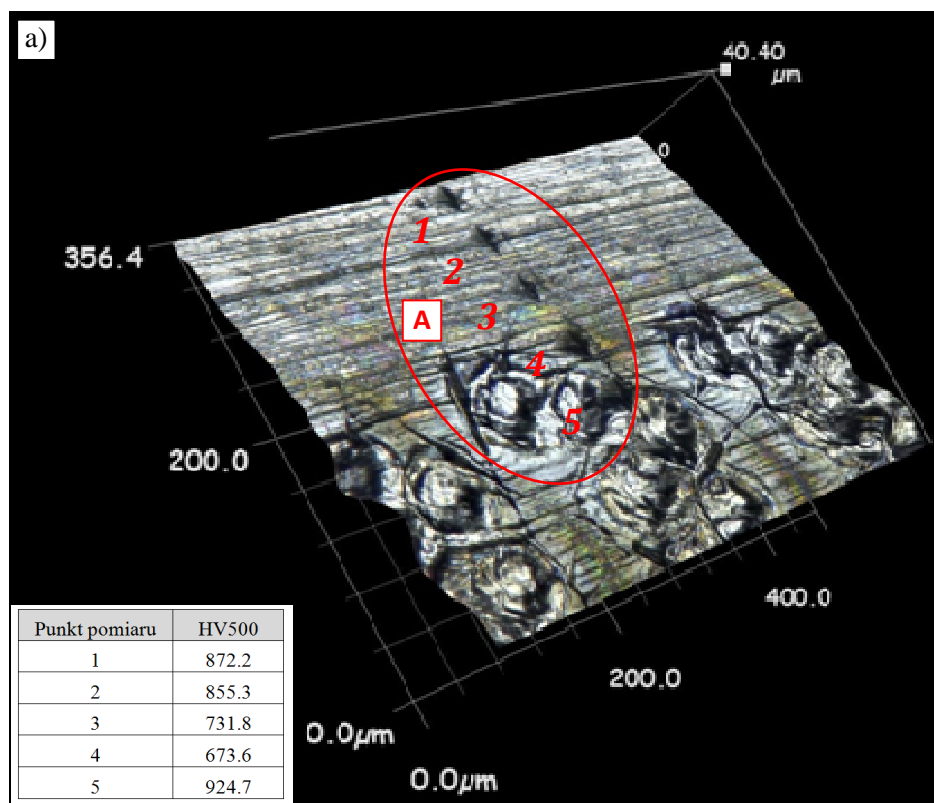
3.1. Badania mikrotwardości

W wyniku oddziaływania wiązką lasera na warstwę powierzchniową stalowych pierścieni uszczelniających z powłoką chromu porowatego, otrzymano charakterystyczną teksturę powierzchni. W tym wariantcie widocznym na rys. 5, 7, 9, wytworzone techniką laserową mikrokanaly, jako zasobniki olejowe posiadały głębokość ok. 13 μm z charakterystyczną siatką mikropełnięć powłoki chromu porowatego.



Rys. 6. Widok strefy zasobnika oleju w postaci mikrokanalu z zaznaczonymi miejscami pomiaru mikrotwardości w strefie A (a) oraz rozkładem mikrotwardości w strefie B (b), c) tabela pomiarów mikrotwardości w strefie A

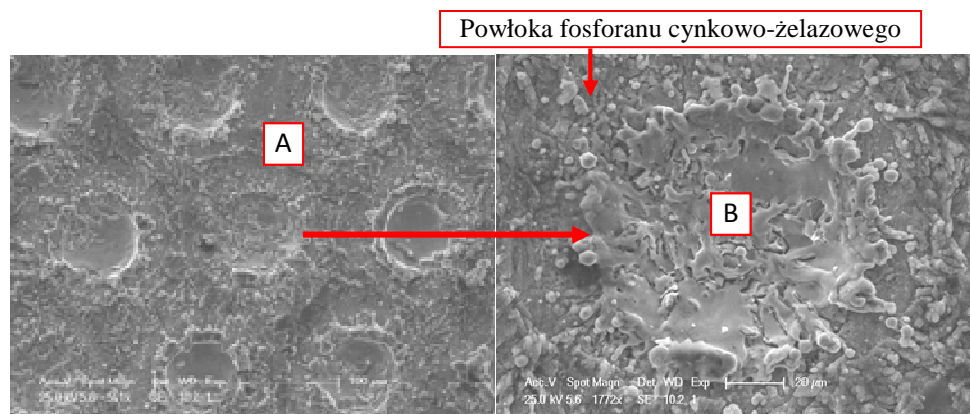
Powodem ww. siatki był szok termiczny wywołany impulsowym oddziaływaniem wiązki laserowej na powierzchnię czołową pierścienia. Podobne efekty zaobserwowano przy wytwarzaniu zasobników olejowych w kształcie mikroczasz. W strefie oddziaływania wiązki laserowej wytworzyła się również drobna siatka mikropęknięć, tworząc dodatkowe zasobniki oleju (rys. 7). W celu zbadania wpływu ablacyjnej mikroobróbki laserowej na zmianę mikrotwardości wykonano pomiary na mikrotwardościomierzu Future-Tech FM-700 z obciążeniem 500g. Rozkład mikrotwardości przedstawiono na rysunkach 6 i 7. Analizując rozkład mikrotwardości w strefie A, tj. mikrokanale, oraz strefie B można wywnioskować, iż w strefie zasobnika następuje nieznaczny spadek mikrotwardości na poziomie ok. 4%, tj. w granicach błędu pomiarowego. Analizując drugi wariant teksturowania, tj. wytworzenie zasobników oleju w kształcie mikroczasz określono wpływ teksturowania laserowego powłoki chromu porowatego na zmiany mikrotwardości. Stwierdzono, że w strefie wypłytki mikrozasobnika następuje niewielki wzrost mikrotwardości o kilkanaście procent.



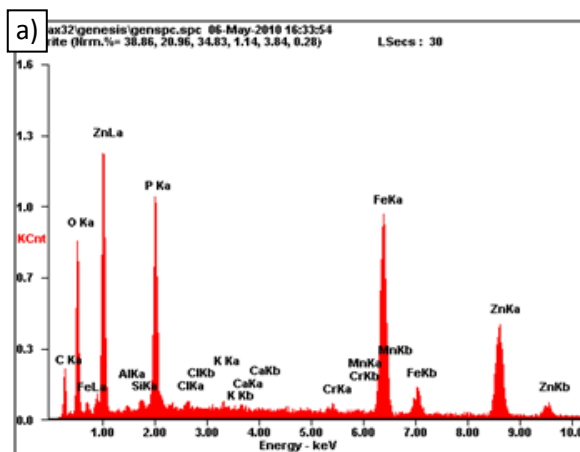
Rys. 7. Widok strefy mikrozasobników w postaci czasz z zaznaczonymi miejscami pomiaru mikrotwardości w strefie A- a)

3.2. Badania składu chemicznego w mikroobszarach

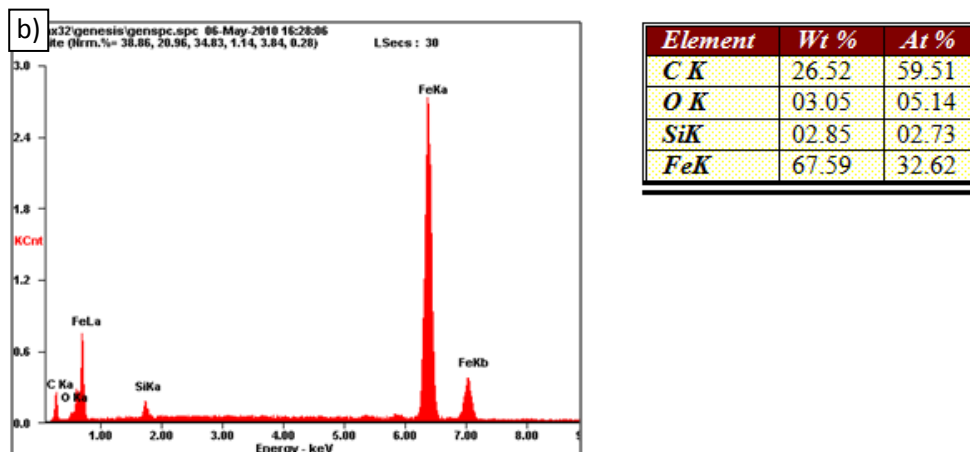
Kolejnym etapem badań mikrotekstury powierzchni zmodyfikowanej laserowo było wykonanie badań składu chemicznego (rys. 8-11) w mikroobszarach w charakterystycznych strefach A i B zmodyfikowanych laserowo powłok fosforanu cynkowo-żelazowego (rys. 8) oraz chromu porowatego (rys. 10). Zdjęcia były wykonane na mikroskopie skaningowym XL 30 z przystawką do badania składu chemicznego EDAX.



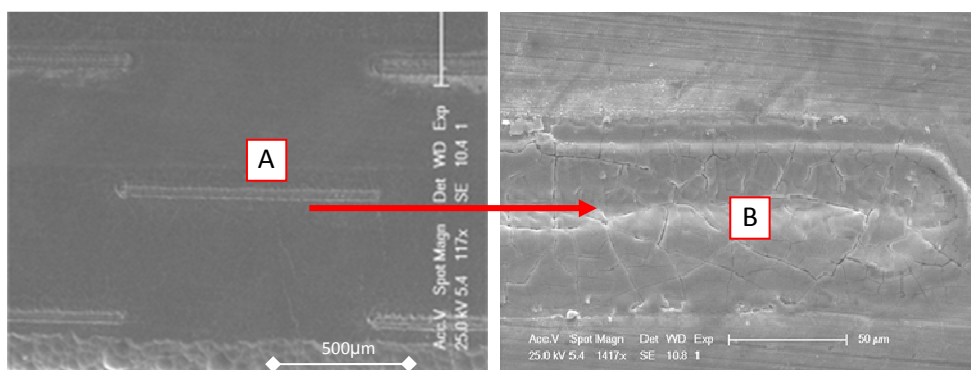
Rys. 8. Widok charakterystycznych zasobników olejowych w kształcie czasz wytworzonych w wyniku teksturowania laserowego na powierzchni bocznej żeliwnego pierścienia zgarniającego z powłoką fosforanu cynkowo-żelazowego



Element	Wt %	At %
<i>CK</i>	23.51	42.21
<i>OK</i>	26.52	35.73
<i>AlK</i>	00.40	00.32
<i>SiK</i>	00.53	00.41
<i>PK</i>	10.62	07.39
<i>ClK</i>	00.41	00.25
<i>KK</i>	00.27	00.15
<i>CaK</i>	00.23	00.12
<i>CrK</i>	00.46	00.19
<i>MnK</i>	00.27	00.10
<i>FeK</i>	17.69	06.83
<i>ZnK</i>	19.09	06.30

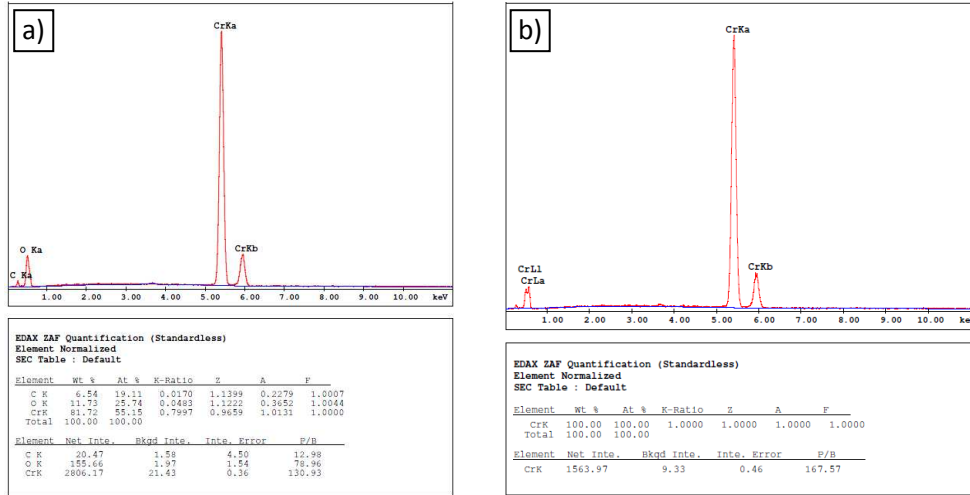


Rys. 9. Spektrogramy składu chemicznego wykonane w charakterystycznych mikroobszarach żeliwnego pierścienia zgarniającego z zasobnikami w postaci czasz: a) spektrogram składu chemicznego w strefie „A”, b) spektrogram składu chemicznego w mikrozasobniku olejowym – strefa „B”



Rys. 10. Widok charakterystycznych zasobników olejowych w kształcie mikrokanalów na powierzchni czołowej uszczelniającego pierścienia tłokowego w wyniku teksturowania laserowego

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów składu chemicznego w charakterystycznych mikroobszarach przedstawionych na rysunkach 9 i 11 można zauważyć, iż w wyniku teksturowania laserowego nastąpiło oczyszczenie powierzchni w mikroobszarach z zanieczyszczeń tlenkowych oraz odsłonięcie struktury powierzchni. Teksturowanie laserowe modyfikowanych powierzchni oprócz wykonania dodatkowych zasobników olejowych spowodowało wytworzenie nowej mikrostruktury wolnej od zanieczyszczeń tlenkowych.



Rys. 11. Spektrogramy składu chemicznego wykonane w charakterystycznych mikroobszarach uszczelniającego pierścienia tłokowego z zasobnikami w kształcie mikrokanalów w postaci rowków: a) spektrogram składu chemicznego w strefie „A”, b) spektrogram składu chemicznego w mikrokanale olejowym strefa „B”

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analizy w ramach niniejszej pracy pozwalają na wysnucie następujących wniosków końcowych:

1. Stosując ablacyjną mikroobróbkę laserową przy odpowiednio dobranych parametrach, odpowiednią optykę oraz automatykę sterującą możliwe jest wytworzenie na powierzchni czołowej i bocznej pierścienia tłokowego mikrozasobników olejowych o różnych kształtach i układach geometrycznych. Pozwala to w strefie zasobników na poprawienie warunków współpracy skojarzenia tłok – pierścienie tłokowe – tuleja cylindrowa, poprzez wytworzenie mikrofilmu olejowego, który skutecznie może rozdzielić ww. elementy, zwłaszcza w warunkach dużego obciążenia cieplnego.
2. Wykonanie mikrozasobników olejowych na powierzchni pierścienia ma niewielki wpływ na mikrotwardość w modyfikowanych laserowo strefach powłok chromu porowatego. Niewielki spadek mikrotwardości w obszarze zasobnika w kształcie kanału może wynikać z faktu dostarczenia wysokiej ilości ciepła w wyniku oddziaływania wielu impulsów laserowych. W przypadku zasobnika w kształcie czaszy, w wyniku krótszego oddziaływania pojedynczego impulsu (ok. 100 ns) i gwałtownego chłodzenia następują prawdopodobnie przemiany fazowe powodujące lokalny wzrost mikrotwardości na powierzchni powłoki chromu porowatego wytworzonego na powierzchni czołowej pierścienia uszczelniających.
3. W wyniku ablacyjnej mikroobróbki laserowej następuje także oczyszczanie powierzchni z zanieczyszczeń organicznych i tlenków. Efektem oczyszczania jest również odsłonięcie tekstury powierzchni zniekształconej w wyniku obróbki

mechanicznej pierścieni. Mikroteksturowanie powierzchni ma więc nie tylko zalety w postaci wytworzenia mikrozasobników olejowych, ale również udrożnienia już istniejącej tekstury pierścienia.

5. LITERATURA

- [1] Schreck S., Zum Gahr K.-H.: *Laser-assisted structuring of ceramic and steel surfaces for improving tribological properties*. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institute for Materials Research I, P.O. Box 3640, 76021 Karlsruhe, Germany 13 March 2005.
- [2] Napadłek W.: *Zastosowanie ablacji laserowej dla zwiększenia trwałości tribologicznej elementów skojarzenia T-P-C silnika spalinowego*. 13TH International Conference Computer Systems Aided Science, Industry And Transport „Transcomp 2009”, Radom 2009.
- [3] Wajand J. A., Wajand J. T.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybko obrotowe*. WNT, Warszawa 2005.
- [4] Napadłek W.: *Zwiększenie odporności tribologicznej warstwy wierzchniej żeliwnych tulei cylindrowych z wykorzystaniem ablacji laserowej*. Tribologia ISSN 0208-7774 Nr 5/2009, s. 147-159.
- [5] Napadłek W.: *Modele tribologiczne współpracy skojarzenia tłok - pierścienie tłokowe – tuleja cylindrowa silnika spalinowego*. Tribologia ISSN 0208-7774 Nr 5/2009, s. 135-145.
- [6] Klink U.: *Laserowe honowanie gładzi cylindrów*. Sympozjum Naukowo - Techniczne pt. „Technika laserowa w inżynierii powierzchni materiałów”, WAT, Warszawa 1997, s. 55-59.
- [7] Burakowski T., Napadłek W.: *Mikroobróbka laserowa - możliwości zastosowań w przemyśle*. Warszawa 2010