

*teksturowanie, laser, elektrodrążenie, warstwa biała,
texturing, laser, electrical discharge, white layer, erosion, surface layer, laser ablation*

Andrzej MAZURKIEWICZ¹
Stanisław BIELAK²

OCENA JAKOŚCI POWIERZCHNI WYBRANEGO MATERIAŁU PO TEKSTUROWANIU

Podczas teksturowania wykonywanego metodami termicznymi tj. ablacją laserową lub elektrodrążeniem, w warstwie wierzchniej zachodzą przemiany strukturalne. Znajomość tych przemian związanych z zachodzącymi procesami cieplnymi stanowi podstawę przy opracowywaniu technologii i doboru parametrów obróbki. Celem badań było określenie wpływu technologii teksturowania na jakość i strukturę warstwy wierzchniej stali narzędziowej. Zastosowanie ablacji laserowej do teksturowania powoduje powstawanie w warstwie wierzchniej szkodliwej nierównomiernej dość grubej warstwy białej, ale z lepszym odwzorowaniem szczegółów tekstury. W przypadku elektrodrążenia warstwa biała jest cienka i równomierna z niewielką wypływką.

QUALITY EVALUATION OF SELECTED MATERIAL'S SURFACE AFTER TEXTURING

When texturing performed by thermal methods, i.e. Ablation laser or electrical discharge, in the surface layer occur structural changes. Knowledge of these changes related to thermal processes occurring forms is the basis for the development of technology and the selection of machining parameters. The aim of the study was to determine the impact of technology texturing the quality and structure of the surface layer of tool steel. Application of the texturing laser ablation causing the harmful uneven surface layer rather thick white layer, but with a better reproduction of detail texture. For EDM white layer is thin and uniform with a small two necks.

1. WSTĘP

Wzornictwo powierzchni materiału podnosi atrakcyjność wyrobu i nadaje cechy wyróżniające go. W wielu gałęziach przemysłu oprócz tych cech ważna jest tekstura na powierzchni formującej narzędzia (formy), które będą nadawały kształt wytwarzanym wyrobom. Powierzchnia teksturowana maskuje nieznaczne wady powierzchni, które mogą wystąpić podczas produkcji lub przy dalszej obróbce i montażu. Produkt wzbogacony zostaje o estetyczne i atrakcyjne wykończenie powierzchni, która jest jednocześnie wygodniejsza do chwytania niż powierzchnia polerowana. Ułatwia to trzymanie i wszelkie operacje z produktem. W nowoczesnych maszynach dla wspomaganie takich funkcji jak intensyfikacja smarowania, intensyfikacja wymiany ciepła, stymulowanie mikroprzepływów, zwiększenie aktywności chemicznej powierzchni coraz częściej stosuje się teksturowanie powierzchni.

Największe możliwości odtwarzania kształtu tekstury ma obecnie technologia ablacji laserowej, która pozwala na wykonanie tekstury bezpośrednio na obrabianym detalu lub pośrednio w formie negatywu na elektrodzie i następnie obróbką erozyjną wykonanie na obrabianym detalu. Skuteczność technologii zapewniona jest dzięki wysokiej mocy obliczeniowych komputerów oraz wzrostowi precyzji promienia lasera w połączeniu ze znacznym wydłużeniem żywotności źródła. Lasery stosowane są do teksturowania, fakturowania oraz graferowania powierzchni płaskich oraz kształtów 3D.

2. WAŻNIEJSZE TECHNOLOGIE TEKSTUROWANIA POWIERZCHNI

Stosowane są różne sposoby nadawania faktury czy też tekstury na tworzywie sztucznym i metalu. Aby uzyskać wybraną fakturę na detalu z tworzyw sztucznych musimy jej odwzorowanie wykonać na powierzchniach formy wtryskowej [1].

Obecnie istnieją różne techniki kształtowania – ozdabiania, dekorowania powierzchni produktów z tworzyw sztucznych.

Zaliczamy do nich:

- techniki bezpośrednie – polegające na nanoszeniu elementów ozdobnych bezpośrednio na powierzchnię wypraski przez jej nadrukowywanie, lakierowania, galwanizowanie, metalizację natryskową, powlekanie folią, flokowanie.

¹ Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Krasickiego 54. tel: + 48 48 361-76-07, e-mail: andrzej.mazurkiewicz@uthrad.pl

² Fabryka Łożysek Toczynek - Kraśnik S.A. ul. Fabryczna 6, 23-210 Kraśnik, e-mail: b_stan@o2.pl

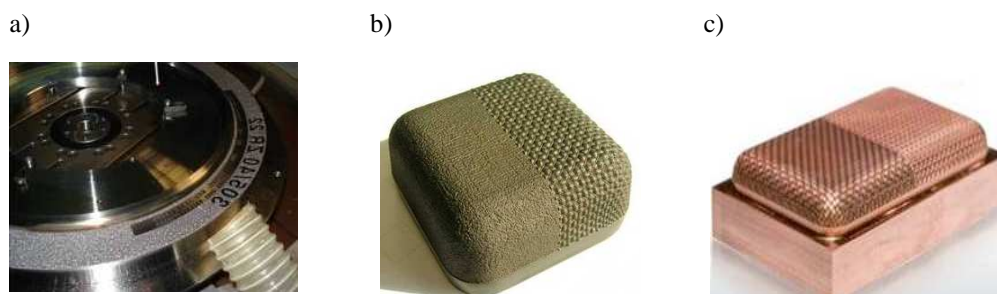
- techniki pośrednie – (kształtowanie powierzchni formujących narzędzi): elektrodrażenie, teksturowanie laserowe, piaskowanie, chromowanie techniczne, fakturowanie (grawerowanie fotochemiczne, galwanotechnika).

Techniki *galvano* charakteryzuje bardzo wierne odtworzenie faktury, lecz niedokładność wymiarów, długi czas powstawania, wysoki koszt i praktycznie nienaprawialność faktury powoduje, że techniki te są rzadko stosowane.

Z kolei fakturowanie fotochemiczne dobrze imituje wzorec, a przy tym pozwala na dużą dowolność konturu powierzchni formy, szybką konwersję wzoru, zapewnia dużą dokładność wymiarów, jest szybkie, tanie i łatwo naprawialne. Fotochemiczna technika teksturowania bazuje na zdolności reakcji metali z kwasami. Aby działanie to nie prowadziło do niekontrolowanej korozji i zniszczenia powierzchni, wymagane są pewne czynności przygotowawcze.

Fototechniczna technika wykonania tekstury nie zapewnia powtarzalności wykonania formy. Nie są to prace wykonywane w sposób numeryczny, wymogiem jest przygotowana bardzo dokładnie powierzchnia i jednakowy w strukturze materiał [1, 2].

Tylko nowoczesne technologie laserowe wykonania tekstury zapewniają powtarzalność kształtu i wysoką dokładność. Oddziaływanie wiązki laserowej na materiał podczas wykonywania różnych operacji i jej wpływ na warstwę wierzchnią wymaga również w procesie teksturowania doboru odpowiednich parametrów technologicznych [3, 4]. Opanowanie procesu ablacji laserowej pozwala na wykonanie elektrod z miedzi i grafitu w sposób powtarzalny. Tym samym wykonanie tekstury na elektrodrażarkach w ustalonych parametrach numerycznych jest powtarzalne. Umożliwia to wykonanie profilu tekstury w sposób powtarzalny na tyle, iż możemy zastosować w przypadku zużycia jednej elektrody - wiele elektrod [5]. Przykłady zastosowania przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykłady powierzchni otrzymanych obróbką laserową [6]: a) formy dla przemysłu oponiarskiego grawerowane laserowo, b) teksturowana elektroda grafitowa, c) teksturowana elektroda miedziana

3. WYNIKI BADAŃ – OCENA JAKOŚCI POWIERZCHNI PO TEKSTUROWANIU

Materiał do badań

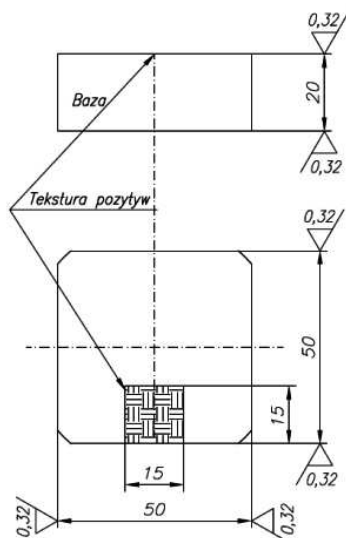
Wybrany materiałem do przeprowadzenia testu jest stal narzędziowa stopowa do pracy na gorąco X40CrMoV5-1 wg PN – EN ISO 4957: 2004, (wg PN – 86/H – 85023 stal WCLV). Analiza chemiczna stali wykonano spektrometrem LECO GDS, wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Analiza składu chemicznego badanej stali X153CrMoV12 [%]

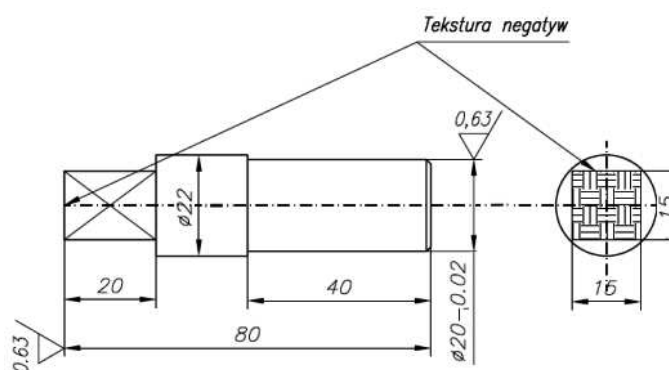
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	W
0,378	0,35	1,06	0,027	0,028	5,15	0,26	1,25	0,08	0,02	0,934	0,1

Kształt próbki ze stal WVLV do teksturowania zaprezentowano na rysunku 2. Po frezowaniu kształtu, wykonano obróbkę cieplną do uzyskania twardości 46÷50 HRC, a następnie szlifowano płaszczyzny.

Na rysunku 3 przedstawiono elektrodę miedzianą teksturowaną laserowo. Elektrode wykorzystano do teksturowania próbki ze stali narzędziowej przez elektrodrażenie.



Rys. 2. Próbką z przeznaczeniem do teksturowania laserowego i elektroerozyjnego



Rys. 3. Elektroda do teksturowania laserowego

Obrabiarki do teksturowania laserowego

Obrabiarki z przeznaczeniem do teksturowania ablacyjnego są produkowane przez firmy *GF AgieCharmilles* i *DMG Holding GmbH*. Technologia laserowa umożliwia obrabianie powierzchni za pomocą: teksturowania, grawerowania, wykonywania mikrostruktur, znakowania i etykietowania w geometrii 2D oraz w złożonej geometrii 3D. Obrabiarka, na której wykonano próby teksturowania jest przedstawiona na rysunku 4 natomiast jej parametry techniczne zawarte w tabeli 2.



Rys. 4. Rysunek grawerki laserowej firmy AgieCharmilles typ Laser 1000 5Ax [5]

Tab. 2. Parametry techniczne grawerki laserowej Laser 1000 5Ax [5]

Maszyna:	Laser 1000 5Ax
Typ lasera, laser iterbowy (Yb); mocy, W	20 opcja 50 ÷ 100
Wymiary detalu do obróbki w 5 osiach, mm	300×300×300
Maksymalna masa detalu w obróbce w 5 osiach, kg	150
Przesuw w 3 osiach liniowych, Obrót w 2 osiach	X, Y, Z, B i A
Wielkość przesuwu osi: X, Y, Z, sterowanych numerycznie, mm	995×550×825
Obrót osi B sterowanej numerycznie, °; prędkość, °/s	360;180
Obrót głowicy laserowej osi A sterowanej numerycznie, °; prędkość, °/s	210;180
Zapotrzebowanie sprężonego powietrza bezolejowego, bar (400 l/min)	6 ÷ 8
Gabaryty obrabiarki, mm	2240×2605×2845
Masa obrabiarki, kg	7000

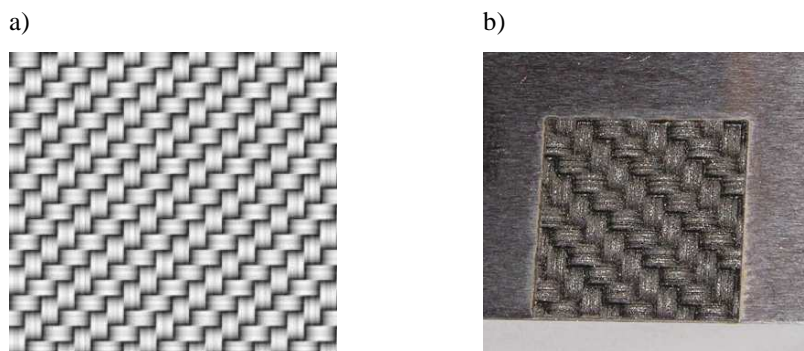
Parametry technologiczne wykonania tekstury

Na przygotowanej próbce materiału wykonano teksturę (rys. 2) o wymiarach 15 × 15 mm i głębokości 0,4 mm.

Założone parametry obróbki laserem 50 W:

- moc lasera 100%,
- częstotliwość 50 kHz,
- szybkość przesuwu promienia laserowego 1000 mm/s,
- jednorazowa zbierana warstwa 226 μm.

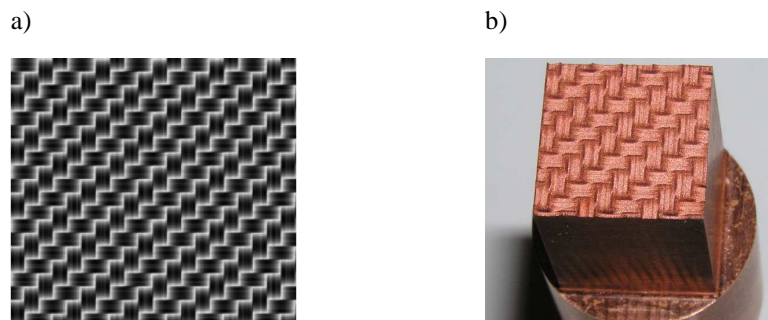
Teksturę wykonaną w/w parametrami przedstawiono na rysunku 5. Wykonanie próbki o podanych parametrach trwało 21 min.



Rys. 5. a) obraz bitmapy do wykonania tekstury w pozytywie, b) tekstura wykonana w pozytywie w materiale stalowym

Następna próba teksturuwania laserowego została wykonana na elektrodzie miedzianej. Bitmapa tej obróbki jest negatywem próby laserowej na materiale stalowym i jest przedstawiona na rysunku 6a. Parametry obróbki uległy zmianie w głębokości jednorazowo zbieranej warstwy na 220 μm. Czas wykonania tekstury wyniósł 24 min. Wygląd elektrody miedzianej z teksturą przedstawia rysunek 6b.

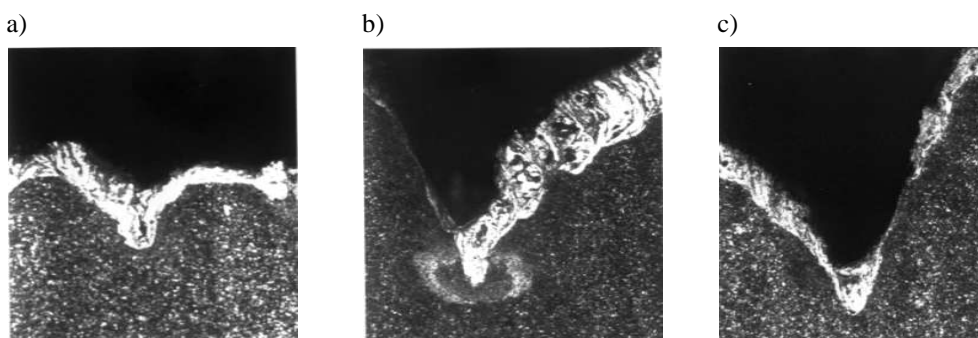
Teksturuwanie laserowe bardzo szczegółowo odzwierciedla założony kształt, jeśli tekstura jest obserwowana w skali makro. Krawędzie końca tekstury zostały poddane analizie na wielkość wypłytki między powierzchnią płaszczyzny, a początkiem profilu tekstury. Pomiary wykonano Profilometrem Form Talysurf Series. Przeprowadzony pomiar wykazał wznios materiału na powierzchnię 25 ÷ 30 μm. Jest to niedogodność, która w dalszym procesie, jeżeli jest to element zamykający formy lub współpracujący powierzchniami styku np. obrotowo, musi być usunięta.



Rys. 6. a) obraz bitmapy do wykonania tekstury laserem w negatywie, b) tekstura w negatywie wykonana w miedzi

Badania jakości tekstury wykonanej laserem

W dalszych badaniach próbka została przecięta na dwie części w połowie tekstury w celu wykonania zgładów metalograficznych. Obserwacja próbek na mikroskopie metalograficznym uwidoczniała duże ilości białej warstwy nierównomiernie rozłożonej na krawędzi zglądu (rys. 7a-c). Na rysunku 7 zostały przedstawione miejsca na zglądach, gdzie widoczne są bardzo duże obszary białej warstwy, ale w obserwacji całego zglądu metalograficznego próbki można zaobserwować sporo miejsc, gdzie niemal nie występuje biała warstwa. Są to przypuszczalnie miejsca, gdzie promień lasera kończył wypalanie tekstury, a przetopiony metal został wyrzucony na wyższe miejsca profilu (rys. 7b, c) i nie uległ odparowaniu. Taka sytuacja nie jest regułą, bo są miejsca, gdzie biała warstwa występuje w niskich częściach kształtu tekstury.



Rys. 7. Struktury metalograficzne profilu tekstury obrabianej laserem z widoczną dużą ilością białej warstwy, a), b) powiększenie 200x, c) powiększenie 500x, trawiono nital 3 min

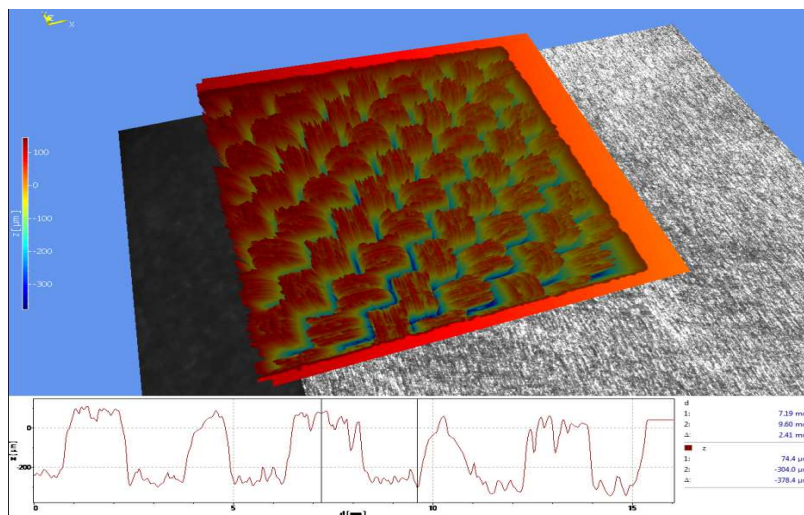
Drugą przyczyną uwidaczniania na zglądzie dużego przekroju białej warstwy w kraterach może być kształt obrobionego laserem profilu, na zglądzie przypuszczalnie jest widoczny przekrój wzdłużny białej warstwy.

Badania twardości warstwy wierzchniej metodą Vickersa na próbkach nie uwidocznily znacznych zmian twardości. Temperatura drugiego odpuszczania po procesie hartowania wynosiła 560 °C, by nastąpiła zmiana twardości, musi być wyższa od temperatury odpuszczania. Pomiar twardości białej warstwy za względu na znaczną porowatość był trudny do oceny.

Dokładność kształtu tekstury został zmierzona na profilometrze optycznym w technologii 3D. Skanowanie optyczne zostało wykonane na profilometrach:

- Skaner optyczny 3D w technologii niebieskiego światła firmy GOM mbH model ATOS Triple Scan.
- Skaner optyczny 3D w technologii białego światła firmy Polytec model TMS 100 Top Map Metro. Lab.

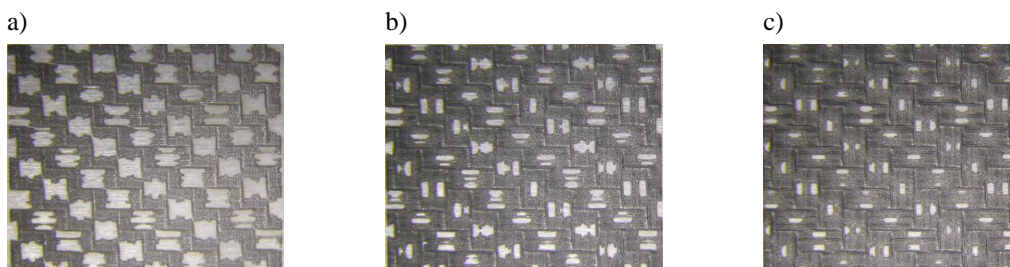
Pomiar ten przedstawia profil (rys. 8), jaki jest czytany w układzie skanowania przez skaner. Pomiar optyczny określa głębokość profilu tekstury, założenia technologiczne 400 µm, pomiar 378,4 µm.



Rys. 8. Skanowany profil tekstury na profilometrze optycznym 3D bez wygładzania przez program komputerowy

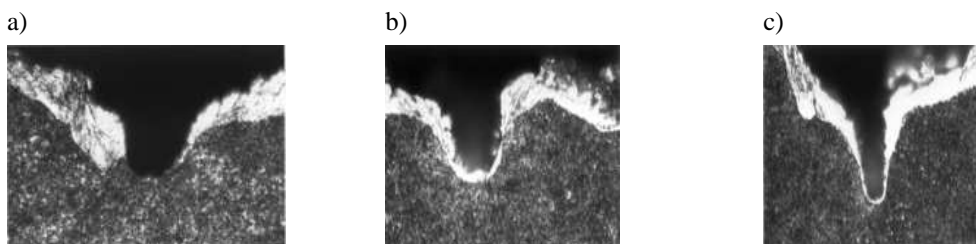
Kolory na wykresie poprzez zmianę barwy, uwidaczniają zmianę wysokości w osi Z. W tym pomiarze widoczna jest nierównoległość detalu i profilu do podstawy, a wykres uwidacznia przyrost wysokości profilu powyżej płaszczyzny.

Wykonana tekstura na głębokość 0,4mm w badaniach metalograficznych uwidoczniła dużą ilość białej warstwy. W celu oceny wpływu głębokości tekstury na strukturę metalograficzną wykonano taką samą teksturę w rozłożeniu na różne głębokości. W parametrach pracy lasera została zmieniona moc do 70% w porównaniu do prób na głębokość 0,4 mm, pozostałe parametry są bez zmian. Wygląd tekstury wykonanej na głębokość 0,1 mm, 0,2 mm i 0,3 mm przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Wygląd tekstury wykonanej na głębokość: a) 0,1 mm, b) 0,2 mm, c) 0,3 mm

Fotografie struktur metalograficznych tekstury o głębokości 0,1÷0,3 mm (rys. 10) wskazują na dość duże ilości materiału zakrzepniętego na częściach profilu. Szczególnie widoczny jest przyrost białej warstwy na krawędziach, znacznie jest mniej na profilu poziomym, a w zagłębieniach profilu biała warstwa prawie nie występuje lub występuje w znacznie mniejszej ilości (rys. 10b i c). Taka budowa mikrostruktury może wskazywać na umiejscowienie zakrzepłego materiału podczas obróbki laserowej na krawędziach i pochyłym profilu. Brak białej warstwy w dolnej części profilu wskazuje na wyrzucanie materiału z dolnych obszarów do warstwy górnej i tam zastyga.

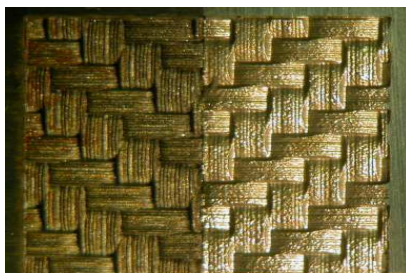


Rys. 10. Struktury metalograficzne profilu obrabianego laserem: a) tekstury o głębokości 0,1 mm, b) o głębokości 0,2 mm, c) o głębokości 0,3 mm

W wyniku przeprowadzonych badań nad teksturą wykonaną techniką laserową, należy stwierdzić, iż warstwa zakrzepłego materiału (biała warstwa) nie jest do uniknięcia. Proces ablacji laserem będzie więc produkował białą warstwę. Wydaje się, że pozostaje jedynie zwiększanie wydajności usuwania materiału poprzez wysoki impuls energii, dzięki stosowaniu zmniejszonej częstotliwości impulsu, jak też ograniczanie szybkości procesu dostosowanego do mocy lasera. Takie zjawiska mogą wystąpić wskutek mniejszej straty energii przez przewodnictwo cieplne. Jednak jak wskazują oceny producentów sprzętu i to nie zawsze daje korzystny końcowy efekt [7].

Aby porównać jakość tekstury wykonanej metodą laserową oraz metodą elektrodrażenia zastosowano odpowiednio przygotowaną elektrodę według rysunku 3. Kształt elektrody użytej do wykonania tekstury został wykonany metodą ablacji laserowej. W procesie wykonania tekstury elektrodą miedzianą dużym utrudnieniem jest bardzo cienkie zakończenie profilu elektrody, który ma za zadanie podczas obróbki elektroiskrowej wydrążyć profil w głąb materiału i nie ulec zużyciu. W procesie wykonania programu do obróbki tekstury użyto parametry związane z wielkością minimalną prądu i ochroną zużycia elektrody. Czas obróbki tekstury o wymiarach 15×15 mm i głębokość 0,4 mm wyniósł 48 min.

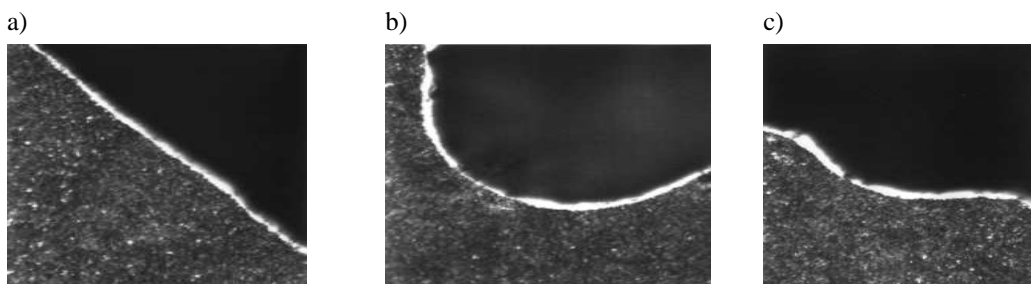
Porównanie wyglądu tekstur wykonanych laserowo i elektrodrażeniem przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Porównanie odzworowania tekstury wykonanych: lewa strona ablacja laserowa, prawa strona elektrodą i obróbką elektroiskrową z widoczną mniejszą ilością szczegółów

Krawędzie końca tekstury zostały podane analizie na wielkość wypłytki. Przeprowadzony pomiar wykazał wznios materiału na powierzchnię $3 \div 5 \mu\text{m}$. W porównaniu do obróbki laserowej wielkość wypłytki jest bardzo niewielka, wymaga tylko minimalnego dotarcia, jeśli są to współpracujące części.

Wybrane badania metalograficzne warstwy wierzchniej próbek z teksturą wykonaną przez elektrodrażenie przedstawiono na rysunku 12.



Rys. 12. Przekroje profilu tekstury o równej wielkości białej warstwy, powiększenie 500x, trawiono nital 3 min

Cechą charakterystyczną warstw jest występowanie równo rozłożonej warstwy białej.

4. WNIOSKI

1. Zastosowanie ablacji laserowej do tekstuowania powoduje powstawanie w warstwie wierzchniej szkodliwej nierównomiernej warstwy białej (materiał stopiony i przyczepiony do materiału rodzimego) grubości $20 \div 100 \mu\text{m}$.
2. Wykonana tekstura na elektrodrażarce posiada cienką białą równomierną warstwę $2 \div 3 \mu\text{m}$.
3. Teksturowanie laserowe nie posiada takich ograniczeń jak elektrodrażenie w powtarzalności kształtu, wskutek zużycia elektrody w teksturoowaniu elektroerozyjnym.
4. Wykonanie tekstury głębokiej obróbką elektroerozyjną nie posiada ostrych części profilu, co pozwoli na łagodne usuwanie wypraski z formy.

5. Teksturowanie laserowe nie wymaga pomocy w postaci elektrody i jest realizowane znacznie z większą prędkością i precyzją kształtu od teksturowania elektroerozyjnego, w który zużyciu ulega elektroda.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Suchacki M.: *Fakturowanie powierzchni narzędzi formujących (form wtryskowych i rozdmuchowych) dla przetwórstwa tworzyw sztucznych*. Narzędziownia.pl, Sumaris (Mold-Tech Standex).
- [2] Radek N.: *Laserowe i elektroerozyjne teksturowanie par ślizgowych o powierzchniach płaskich*. Mechanik, nr 11/2010.
- [3] Mazurkiewicz A.: *Technologie specjalne kształtowania materiałów*. Politechnika Radomska. Radom 2009.
- [4] Mazurkiewicz A.: *Wybrane właściwości warstwy wierzchniej po przecinaniu różnymi metodami*. Logistyka 6/2010.
- [5] Nowości GF AgieCharmilles. Mechanik, nr 1, 2010.
- [6] Obrabiarki firmy AgieCharmilles.: <http://www.gfac.com/pl/nowosci/index.pl.html>
- [7] Verhagen A.: *Laser Application Engineer*. AgieCharmilles Group. Georg Fischer – Manufacturing Technology.