

Badania wpływu obróbki wibrościerniej na warstwy nanoszone techniką ESD

Research on the impact of vibratory machining on the layer applied with the ESD technique

SŁAWOMIR SPADŁO
DAMIAN BAŃKOWSKI
PIOTR MŁYNARCZYK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.11.184>

Artykuł zawiera propozycję zastosowania obróbki ścierniem luźnym w wibrujących pojemnikach do wygładzania powierzchni nanoszonych techniką ESD. W badaniach nanoszono warstwę elektrodą wolframową na podłożu stalowym. Następnie przeprowadzono obróbkę wibrościerną. Zbadano SGP przed obróbką wibracyjną i po niej. Ponadto zbadano skład chemiczny oraz grubość nanoszonych warstw.
SŁOWA KLUCZOWE: obróbka wibrościerna, wygładzanie powierzchni, nanoszenie warstw, ESD, mikrostruktura

The article presents the proposal of using abrasive treatment in vibrating containers for surface treatment applied with the Electro Spark Deposition technique. In tests on a carbon steel the layer was applied with a tungsten electrode. After the tungsten layers were applied, a vibro-abrasive treatment was carried out. Changes in the geometrical structure of the surface of the deposited layers before and after vibratory processing were investigated. In addition, the chemical composition and the thickness of the coatings were examined.

KEYWORDS: vibratory machining, surface smoothing, layer application, ESD, microstructure

Metody poprawy cech eksploatacyjnych i regeneracji części maszyn nabierają w dzisiejszych czasach coraz większego znaczenia. Zasadność procesów odtwarzania właściwości użytkowych części maszyn zależy najczęściej od efektywności procesów regeneracji. W wielu przypadkach koszt regeneracji części maszyn po ich zużyciu eksploatacyjnym lub po awarii waha się na poziomie kilku procent wartości naprawianej części.

W procesach projektowania elementów konstrukcyjnych znaczącej roli nabiera kwestia powtórnego zastosowania zużytych eksploatacyjnie elementów, a wiele konstrukcji jest zaprojektowanych w sposób ułatwiający w przyszłości ich regenerację.

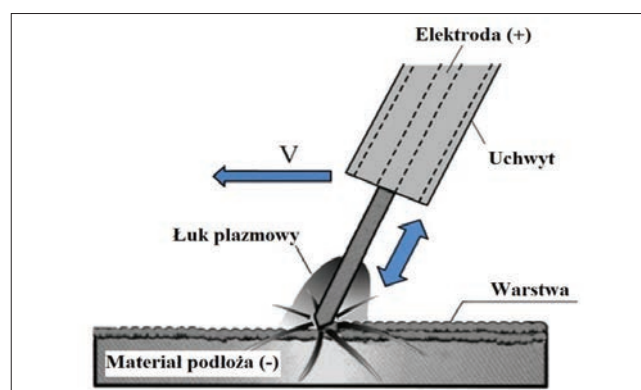
Metod regeneracji i modyfikacji powierzchni jest wiele, w zależności od oczekiwanych właściwości wytwarzanych powłok i warunków eksploatacji oraz użytych materiałów powłokowych [2,3,7]. Z powodzeniem stosuje się metody natryskiwania cieplnego i napawania oraz metody tarciove.

Osadzanie elektroiskrowe (ESD – *electro spark deposition*) wykorzystuje krótkie impulsy prądu do osadzania materiału z elektrody roboczej na podłożu obrabianym w celu poprawy właściwości warstwy wierzchniej, takich jak odporność na korozję czy zarysowania albo twardość.

Metoda elektroiskrowego nanoszenia powłok jest związana z transportem energii i masy w warunkach wyładowania elektrycznego pomiędzy elektrodą roboczą a przedmiotem obrabianym. Elektroda robocza stanowi

anodę, a przedmiot obrabiany – katodę [2, 8, 10]. Obróbka odbywa się w atmosferze gazowej, zwykle powietrza. W celu ochrony nanoszonej warstwy przed utlenianiem do wytworzenia atmosfery ochronnej stosuje się gazy obojętne. Obróbka może się również odbywać w ośrodkach ciekłych, np. w nafcie, oleju.

Klasyczne utwardzanie z wykorzystaniem wyładowań iskrowych umożliwia wytworzenie warstwy zmodyfikowanej o grubości od kilku do ok. 200 μm na ograniczonej powierzchni (w zależności od wymiarów elektrody). W większości przypadków modyfikacja WW z zastosowaniem wyładowań elektrycznych wiąże się ze wzrostem chropowatości.



Rys. 1. Schemat nanoszenia warstwy wolframowej metodą ESD

Charakterystyka obróbki wibrościerniej

Obróbka wibrościerna to odmiana obróbki pojemnikowej polegająca na wykorzystaniu energii drgającego zbiornika roboczego poprzez wprowadzenie w ruch wsadu roboczego [1, 4]. Wsadem roboczym są najczęściej kształtki ściernie, płyny wspomagające, pasty ściernie oraz same przedmioty obrabiane. Trajektorie komponentów wsadu roboczego są wynikiem nałożenia się ruchu obrotowego wokół osi napędowej urządzenia oraz ruchu wznoszącego i opadającego, potocznie nazywanego ruchem spiralnym [6, 9]. Wzajemne oddziaływania pomiędzy elementami wsadu powodują mikroskrawanie powierzchni elementów obrabianych, a w efekcie – ścieranie powierzchni.

Obróbki pojemnikowe są wykorzystywane do wykańczania powierzchni i mają na celu zmniejszenie jej chropowatości, usunięcie powłok lakierniczych itp., śladów korozji, wpływu ciepła czy zaokrąglenie krawędzi bądź usunięcie zadziorów [11]. Ponadto obróbka luźnym ścierniem może być stosowana w celu uzyskania efektu wyblszczenia, tzw. efektu lustra.

Z zastosowaniem obróbki wibrościerniej związany jest dobór warunków/parametrów procesu, takich jak:

- media ściernie (szlifujące i/lub polerujące),
- wspomagające płyny i/lub pasty obróbkowe,

* Dr hab. inż. Sławomir Spadło prof. PŚk (sspadlo@tu.kielce.pl), mgr inż. Damian Bańkowski (dbankowski@tu.kielce.pl), mgr inż. Piotr Młynarczyk (piotrm@tu.kielce.pl) – Katedra Metaloznawstwa i Technologii Materiałowych Politechniki Świętokrzyskiej

- czas obróbki,
- częstotliwość pracy urządzenia,
- proporcja mediów i przedmiotów obrabianych.

Czas obróbki waha się od kilkunastu minut (srebrne wyroby jubilerskie w zbiorniku bezwładnościowym) do kilku tygodni (kamienie szlachetne w wyłazarkach bębnowych lub wibracyjnych) i zależy od zastosowanej metody, materiału ściernego oraz obrabianych przedmiotów.

Proces może być prowadzony w warunkach:

- na sucho – z użyciem past ściernych i odpowiedniego nośnika (mielonych kaczanów kukurydzy lub łupin orzecha włoskiego),
- na mokro – najczęściej z dodatkiem płynu wspomagającego lub wodnej zawiesiny ścierniwa – z użyciem żywicznych lub ceramicznych kształtek ściernych albo śrutu ze stali nierdzewnej, kwasoodpornej lub szkła.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań były powłoki z wolframu wykonane metodą ESD na podłożu ze stali C45, w wyniku wyładowań elektrycznych sterowanych za pomocą specjalnie w tym celu skonstruowanego generatora.

Parametry procesu ESD:

- napięcie $U = 600$ V,
- pojemność kondensatora $C = 50; 150; 250$ μ F,
- częstotliwość $f = 50$ Hz.

Po naniesieniu powłok wolframowych przedmioty poddano obróbce wibrościernej.

Do badań zastosowano urządzenie Rollwasch SMR D 25. Jako wsadu roboczego użyto kształtki poliestrowe PB 14 KT oraz ok. 150 ml płynu wspomagającego FE-L120-B32/R, mającego stworzyć warunki sprzyjające polerowaniu i pasywacji powierzchni. Częstotliwość drgań zbiornika roboczego ustalono na 2500 Hz, natomiast czasu obróbki odpowiednio: 60, 120 oraz 180 min.

Wyniki badań

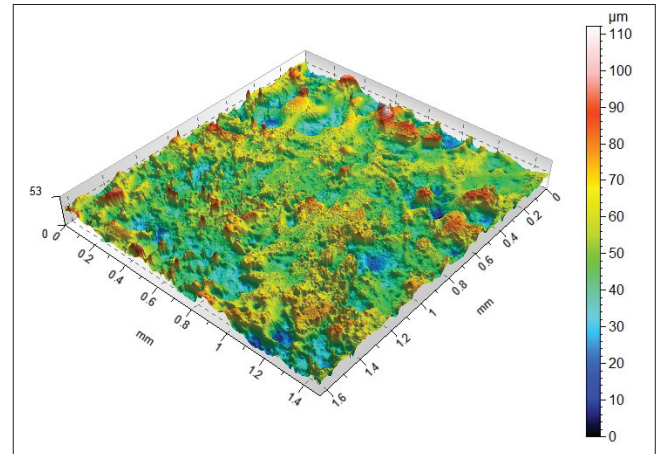
Zmierzono strukturę geometryczną uzyskanych powierzchni na profilometrze optycznym Taylor Hobson Talysurf CCI Lite [5]. Wyniki pomiarów zmian struktury geometrycznej powierzchni zamieszczono w tablicy. Pomiar przeprowadzono bezpośrednio po obróbce ESD, a następnie kolejno po obróbce wibrościernej w odpowiednich odstępach czasu: 60, 120, 180 min.

TABLICA. Wyniki pomiaru zmian struktury geometrycznej powierzchni

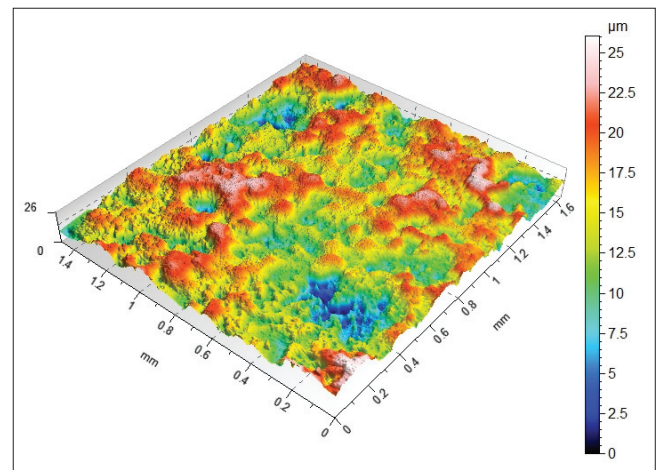
Pojemność kondensatora μ F	Czas obróbki min	S_a μ m	S_z μ m
50	0	9,598	112,093
	60	5,895	65,754
	120	5,578	51,880
	180	4,931	39,883
150	0	7,495	63,407
	60	6,138	37,880
	120	5,650	35,973
	180	4,443	32,742
250	0	4,206	53,156
	60	3,530	35,911
	120	3,201	26,050
	180	2,945	21,535

Na podstawie pomiarów 3D struktury geometrycznej powierzchni nanoszonych warstw wolframowych można stwierdzić, że przy najmniejszych pojemnościach użytych kondensatorów uzyskano powierzchnie charakteryzujące się wyższymi wartościami parametru wysokości najwyższego wzniesienia profilu R_p , z większą liczbą pików o znacznych wysokościach, aniżeli w przypadku powierzchni uzyskanych z wykorzystaniem kondensatorów o największej pojemności. Najwyższa chropowatość powierzchni była dwukrotnie większa $S_z = 112$ μ m dla kondensatorów o pojemności 50 μ F niż w przypadku zastosowania kondensatorów o pojemności 250 μ F: $S_z = 53$ μ m.

Przykładowe struktury geometryczne powierzchni przedstawiono na rys. 2 i 3.



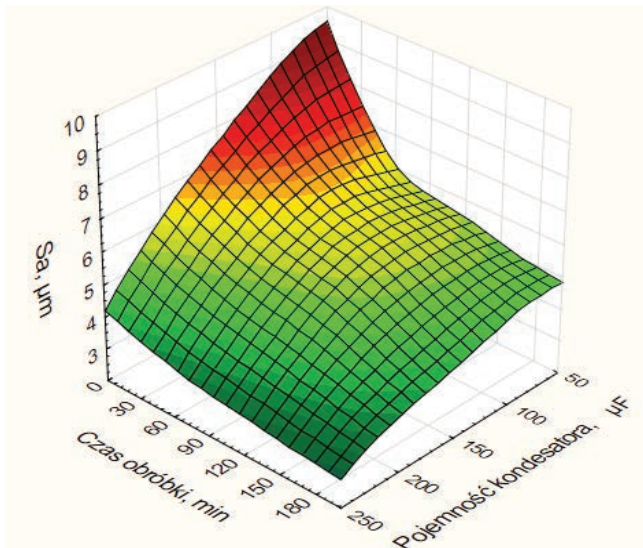
Rys. 2. Struktura 3D powierzchni po nanoszeniu warstwy wolframowej ($C = 50$ μ F)



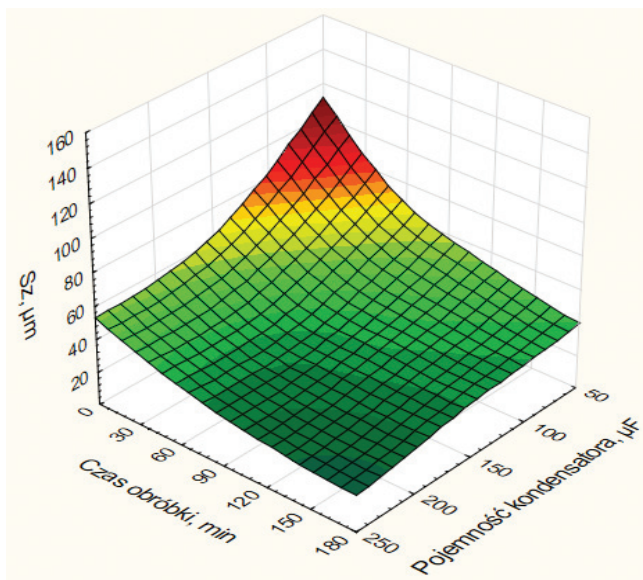
Rys. 3. Struktura 3D powierzchni po nanoszeniu warstwy wolframowej ($C = 250$ μ F) i po obróbce wibrościernej 120 min

Wyniki pomiarów pozwoliły na skonstruowanie w programie Statistica wykresów zależności średniej arytmetycznej chropowatości powierzchni (rys. 4) oraz maksymalnej wysokości powierzchni S_z (rys. 5) od czasu obróbki i pojemności kondensatorów użytych do nanoszenia powłok.

Należy podkreślić, że parametr chropowatości powierzchni S_z zmniejsza się najszybciej w pierwszym okresie obróbki – przez pierwsze 60 min. Wynik ten potwierdza, że w obróbce ścierniwe luźnym najintensywniejsze oddziaływania pomiędzy elementami obrabianymi a kształtkami ściernymi występują na wzniesieniach profilu chropowatości. W przypadku zastosowania w układzie zasilania kondensatorów o pojemności 50 μ F następuje zmniejszenie S_z z 112 μ m do 65 μ m.



Rys. 4. Zależność zmian średniej arytmetycznej chropowatości powierzchni S_a od czasu obróbki wibrościerniej i pojemności kondensatora

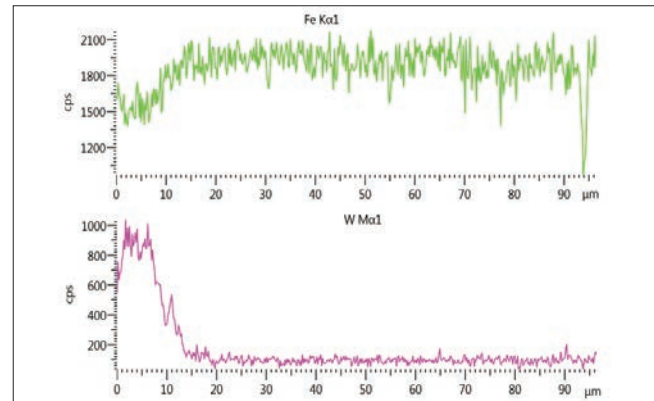
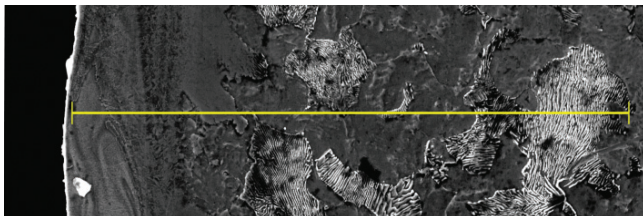


Rys. 5. Zależność zmian najwyższej chropowatości powierzchni S_z od czasu obróbki wibrościerniej i pojemności kondensatora

Ten przykład potwierdza tezę, że w pierwszej kolejności usuwane są najbardziej wysunięte nad powierzchnię wierzchołki nierówności. Wydłużenie czasu obróbki powoduje dalsze zmniejszanie się analizowanych parametrów SGP, jednak proces się stabilizuje.

Badania warstwy wierzchniej uzupełniono analizą liniową oraz punktową składu chemicznego naniesionej warstwy. Zostały one przeprowadzone wzdłuż wybranej linii na zglądzie poprzecznym próbki, tak aby obejmowały materiał rodzimy oraz warstwę zmodyfikowaną.

Otrzymano rozkłady wybranych pierwiastków (rys. 6) w obszarze połączenia warstwy naniesionej z podłożem. Analizę przeprowadzono z użyciem mikrosondy elektronicznej typu OXFORDX-MAX.



Rys. 6. Fotografia SEM oraz analiza liniowa składu chemicznego warstwy osadzonej przy pojemności kondensatorów 50 μF

Podsumowanie wyników badań

Badania procesu osadzania elektroiskrowego z użyciem elektrody wolframowej wykazały, że:

- pojemność kondensatorów ma znaczący wpływ na strukturę geometryczną powierzchni. Użycie kondensatorów o mniejszej pojemności powodowało większe zniekształcenie struktury i powstanie struktury z dużą liczbą ostrych wierzchołków,
- na skutek zastosowania kondensatorów o większej pojemności warstwa wierzchnia była bardziej płaska i składała się głównie z czystego wolframu, natomiast przy mniejszych pojemnościach zaobserwowano warstwę dyfuzyjną zawierającą ok. 50±60% wolframu,
- grubość warstwy osadzonej zmieniła się w zależności od pojemności kondensatorów: od 10 μm (przy małej pojemności) do 30 μm (przy dużej pojemności),
- obróbka luźnymi kształtkami ściernymi – wibrościerna – pozwala na zmniejszenie średniej arytmetycznej chropowatości powierzchni nanoszonych warstw wolframowych, zatem może być z powodzeniem stosowana do wykańczania twardych warstw wolframowych,
- największe zmniejszenie największej chropowatości powierzchni S_z następuje w pierwszym okresie obróbki – przez pierwsze 60 min.

LITERATURA

1. Bańkowski, D. Spadło, S. "Influence of the smoothing conditions in vibro-abrasive for technically dry friction the parts made of steel X160CR-MOV121". *Proc. 25th Int. Conf. Metall. Mater. Metal.* (2016): s. 1019–1024.
2. Davydov A.D., Kozak J. "Physico-chemical principles of electrochemical discharge machining". *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 3 (1991): s. 3–13.
3. Depczyński W. "The selected properties of fusion of Fe foam and sheet metal with use of sintering in dissociated ammonia". *Proceedings of 25th International Conference on Metallurgy and Materials. METAL.* (2016): s. 682–687.
4. Filipowski R., Marcinak M. „Obróbki powierzchniowe i erozyjne”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (2000): s. 304–308.
5. Janecki D., Stepien K., Adamczak S. "Problems of measurement of barrel- and saddle-shaped elements using the radial method". *19th IMEKO World Congress Location*. 43, 5 (2010): s. 659–663.
6. Kacalak W., Lipiński D., Bałasz B., Rypina Ł., Tandecka K., Szafranec F. "Performance evaluation of the grinding wheel with aggregates of grains in grinding of Ti-6Al-4V titanium alloy". *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* (2018): s. 94: 301. doi.org/10.1007/s00170-017-0905-x.
7. Schumacher B. „After 60 years of EDM the discharge process remains still disputed”. *Proc. XIV. ISEM*. Edinburgh, UK. 149, (2004): s. 376–381.
8. Spadło S., Młynarczyk P., Łakomicz K. "Influence of the of electrical discharge alloying methods on the surface quality of carbon steel". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 89, 5–8, s. 1529–1534. DOI 10.1007/s00170-016-9168-1.
9. Starosta R. "Surface Treatment". Gdynia: Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, 2008.
10. Świercz R., Oniszczyk-Świercz D. "Experimental investigation of surface layer properties of high thermal conductivity tool steel after electrical discharge machining". *METALS*. 7, 12, Article No.: 550, Published: DEC 2017.
11. Woźniak K. „Obróbka powierzchni w wyładzarkach pojemnikowych”. Warszawa: WNT, 2017.