

*Bogdan Antoszewski, Norbert Radek
Katedra Inżynierii Eksploatacji
Politechnika Świętokrzyska*

WYTWARZANIE POWIERZCHNI NIEJEDNORODNYCH TECHNOLOGIĄ ELEKTROISKROWĄ I LASEROWĄ

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań powłok Cu-Mo i Cu-Ti nakładanych elektroiskrowo, a następnie modyfikowanych wiązką laserową. Powłoki były nakładane na stal St3S. Badano mikrotwardość oraz makrogeometrię powierzchni powłok.

Słowa kluczowe: powierzchnia niejednorodna, obróbka elektroiskrowa, obróbka laserowa

Wstęp

Współczesne poglądy na temat procesów tribologicznych zachodzących na granicy kontaktu ciał stałych coraz częściej sięgają po model w którym mamy do czynienia z powierzchniami niejednorodnymi. Powierzchnie niejednorodne to powierzchnie posiadające wyodrębnione regularne obszary dające się opisać innymi niż pozostała część powierzchni własnościami geometrycznymi, fizykomechanicznymi czy fizykochemicznymi. Obszary tworzące niejednorodność powierzchni powstają w wyniku użycia do ich wytworzenia innej technologii niż do pozostałej części powierzchni. Tak więc niejednorodności mogą tworzyć:

- wgłębienia w powierzchniach ślizgowych i roboczych np. rowki, kanaliki, wgłębienia kształtowe wykonane poprzez frezowanie, erodowanie, trawienie, kształtowanie laserowe itd.,
- obszary wyróżniające się odmiennymi własnościami fizykochemicznymi i mechanicznymi np. powierzchnie o zróżnicowanej miejscowo twardości i wytrzymałości mechanicznej uzyskane drogą lokalnego hartowania powierzchniowego (laserowego, elektronowego lub powierzchniowej obróbki cieplno chemicznej),

- obszary o zróżnicowanej mikrogeometrii powierzchni np. obszary erodowane punktowo (obróbka laserowa) lub posiadające ukształtowaną mikrogeometrię powierzchni w zakresie np. założonej kierunkowości mikronierówności lub nośności powierzchni (technologie laserowe i elektroiskrowe).

Najczęściej rozpatrywanym przypadkiem niejednorodności powierzchni jest jej falistość. W falistości powierzchni upatrywano źródeł podwyższonej nośności łożysk wzdłużnych a także przyczynę zwiększonych wycieków przez uszczelnienie czołowe. Początkowo falistość identyfikowano jako efekt niezamierzony będący wynikiem miejscowych obciążeń i odkształceń od sił przenoszących lub stabilizujących moment obrotowy. Obecnie falistość powierzchni przedstawia się w wielu przypadkach jako cechę zamierzoną gwarantującą zaistnienie pewnych procesów hydrodynamicznych w szczelinie smarnej. Można tu przytoczyć przykład uszczelnienia termohydrodynamicznego posiadającego specjalne „kieszenie” pod powierzchnią lub rowki na powierzchni tworzące obszary bardziej schłodzone a tym samym mniej odkształcone. Uszczelnienie takie posiada walor szczelności spoczynkowej właściwej dla powierzchni płaskiej i wysokiej nośności w czasie ruchu odpowiedniej dla uszczelnienia hydrodynamicznego. Podobne efekty można uzyskać poprzez różnicowanie twardości powierzchni drogą lokalnego hartowania. Należy tu podkreślić że drogą lokalnej obróbki powierzchniowej można kształtować złożony stan odkształcenia powierzchni zgodny z wzorem lokalnej obróbki powierzchniowej.

Celem pracy jest wykazanie możliwości wytwarzania powierzchni niejednorodnych technologią nakładania powłok elektroiskrowych w połączeniu z obróbką laserową.

Materialy i metodyka badań

Przedmiotem badań były powłoki niejednorodne Cu-Ti oraz Cu-Mo nakładane z elektrod w postaci drutu o średnicy $\varnothing = 1$ mm (anoda) metodą elektroiskrową na podłoże ze stali St3S (katoda). Miedź w tego typu powłokach stanowi zasób materiału wyjściowego do budowy niskotarciowych warstw granicznych oraz jest kompensatorem naprężeń własnych. Natomiast tytan i molibden wybrano jako składniki umacniające powłokę.

Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenie produkcji bułgarskiej, model ELFA-541. Powłoki nakładano w atmosferze otoczenia. Opierając się na analizie charakterystyk prądowych oraz zaleceniach producenta urządzenia przyjęto następujące parametry nanoszenia powłok elektroiskrowych: natężenie prądu

$I = 16$ A (dla Cu $I = 8$ A); prędkość przesuwu stołu $V = 0,5$ mm/s; prędkość głowicy wraz z elektrodą $n = 4200$ obr/min; liczba przejść powlekających $L = 2$ (dla Cu $L = 1$); pojemność zespołu kondensatorów $C = 0,47$ μ F; czas trwania impulsu $T_i = 8$ μ s; czas trwania przerwy między impulsami $T_p = 32$ μ s; częstotliwość $f = 25$ kHz.

Próbki z powłokami Cu-Ti i Cu-Mo przygotowano do badań w dwóch seriach (przed i po obróbce laserowej). Grubość naniesionych elektroiskrowo powłok wynosiła $8 \div 10$ μ m.

Obróbkę laserową przeprowadzono laserem Nd:YAG (impulsowy tryb pracy), model Bassell BSL 720 przy następujących parametrach procesu: średnica plamki laserowej $\phi = 0,7$ mm; moc średnia lasera $P = 20$ W (moc w impulsie około 1000 W); prędkość przemieszczania wiązki $V = 250$ mm/min; odległość od ogniska $\Delta f = 1$ mm; częstotliwość powtarzania $f = 50$ Hz; czas trwania impulsu $t_i = 0,4$ ms.

Uzyskane powierzchnie poddano następującym badaniom:

- obserwacji stanu powierzchni przy pomocy mikroskopu stereoskopowego,
- badaniom makrogeometrii,
- pomiarom mikrotwardości metodą Vickersa.

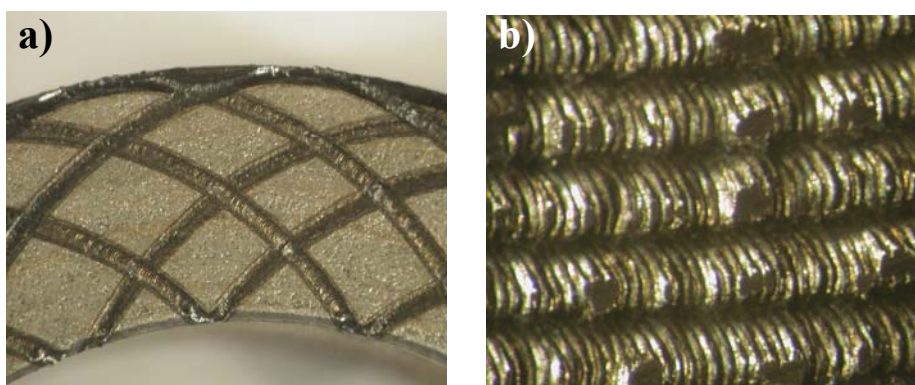
Omówienie wyników badań

Badania makrogeometrii wykonano przy użyciu kształtografu PG-2/200 wykonanego w Instytucie Obróbki Skrawaniem w Krakowie. Urządzenie to umożliwia pomiar kształtu powierzchni metodą styku w wyniku, której otrzymujemy widok 2D lub 3D. Pomiary makrogeometrii wykonano dla powłok Cu-Ti oraz Cu-Mo przed i po obróbce laserowej.

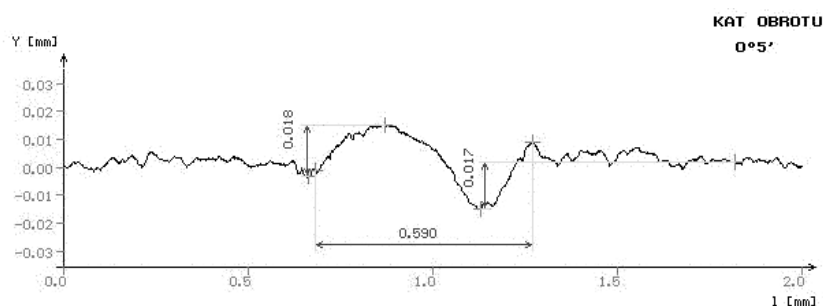
Przyjęto następujące warunki pomiaru: zakres - 2,5 mm; prędkość przesuwu - 0,1 mm/s; tor przesuwu - 2 lub 6 mm; długość ramienia - 200 mm; ostrze pomiarowe - stożek, skok stolika - 0,5 mm.

Kształtowanie geometrii powłok elektroiskrowych wiązką laserową polegało na wykonaniu „łuków” (rys. 1). Widoczne na fotografiach (rys. 1a i 1b) ślady przejścia wiązki laserowej (wzniesienia) układają się w regularnych odstępach tworząc zaplanowaną strukturę powierzchni. Przykładowe wyniki pomiarów makrogeometrii powierzchni powłoki Cu-Mo po obróbce laserowej przedstawiono na rysunku 2. Na profilu widoczne są wzniesienia i wgłębienia, które powstają w wyniku zmian strukturalnych i towarzyszącym im zmianom objętości właściwej w strefach oddziaływania wiązki laserowej. Różnica pomiędzy poziomem wzniesień i wgłęb-

bień wynosiła średnio około $5\ \mu\text{m}$. Powłoki o takim ukształtowaniu poddaje się zabiegowi docierania i dogładzania. Po obróbkach poprzez docieranie i dogładzanie uzyskuje się na wzniesieniach twarde płaskie obszary, które mogą przenosić obciążenia normalne i obszary wgłębień w których podczas smarowania cieczowego generowane są siły hydrodynamiczne. Powłoki o takim ukształtowaniu mogą znaleźć zastosowanie w wysoko obciążonych ślizgowych węzłach tarcia.



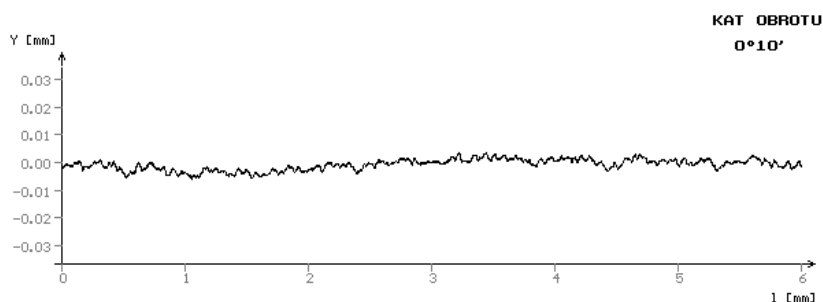
Rys. 1. Powłoka Cu-Mo kształtowana laserem: a) pow. 10x, b) pow. 40x
Fig. 1. Cu-Mo coating treated by laser: a) x10 magnification, b) x40 magnification



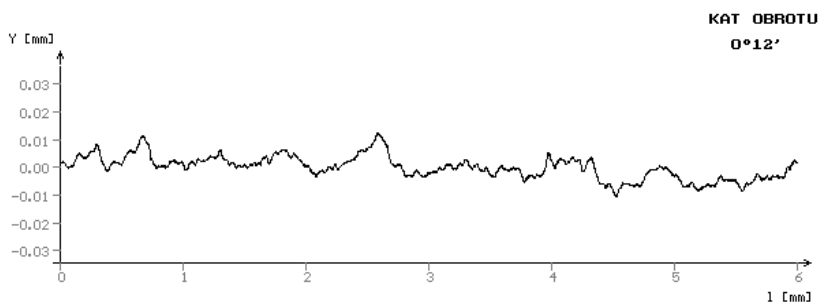
Rys. 2. Profil powłoki Cu-Mo nałożonej elektroiskrowo po obróbce laserowej
Fig. 2. Profile of electro spark Cu-Mo coating after laser treatment

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono profile powierzchni powłok elektroiskrowych Cu-Mo i Cu-Ti. Profil powierzchni powłoki Cu-Ti (rys. 4) charakteryzuje się większą nierównością niż profil powłoki Cu-Mo (rys. 3). Otrzymane profile powierzchni powłok są wynikiem sumarycznego oddziaływania zjawisk erozji, przenoszenia materiału anody i ruchów konwekcyjnych ciekłego materiału.

Dla wytwarzania powłok Cu-Ti należy poszukiwać parametrów ograniczających erozję podłoża (mniejsze prądy i mniejsza częstotliwość).



Rys. 3. Profil powłoki Cu-Mo nałożonej elektroiskrowo
Fig. 3. Profile of electro spark Cu-Mo coating

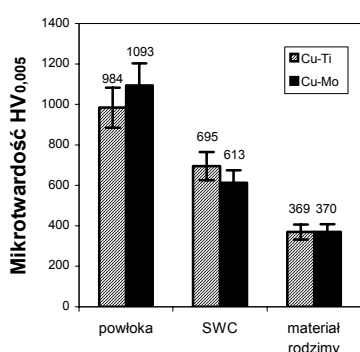


Rys. 4. Profil powłoki Cu-Ti nałożonej elektroiskrowo
Fig. 4. Profile of electro spark Cu-Ti coating

Przedstawiony porządek nanoszenia warstw sprzyja stopieniu wcześniej nałożonej warstwy z materiału łatwotopliwego (w tym przypadku Cu) co przy nakładaniu drugiej warstwy z materiału trudnotopliwego (w tym przypadku Ti oraz Mo) przyczynia się do wypełniania nierówności i porów podłoża. W wyniku tego w procesie krystalizacji tworzy się struktura powłoki typu mechanicznej mieszaniny z niewielkimi obszarami tworzącymi stały roztwór. Krystalizacja drugiej warstwy zachodzi w warunkach akumulowania ciepła przez łatwotopliwy materiał pierwszej warstwy.

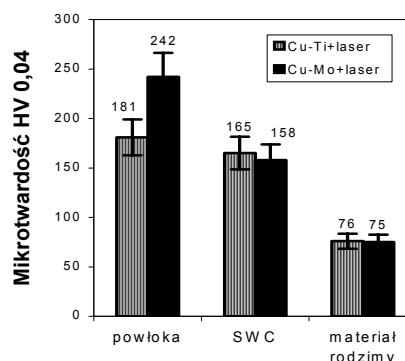
W dalszym etapie badań dokonano pomiarów mikrotwardości powłok Cu-Ti oraz Cu-Mo naniesionych elektroiskrowo na stal niskowęglową przed i po obróbce laserowej. Pomiary mikrotwardości przeprowadzono metodą Vickersa przy użyciu

mikrotwardościomierza Hanemanna, stosując obciążenie 40 G (w przypadku powłok obrobionych laserem) i 5 G (dla powłok nie obrabianych laserowo). Pomiarom poddano strefę powłoki, strefę wpływu ciepła (SWC) oraz materiał podłoża. Zastosowanie obróbki elektroiskrowej spowodowało zmiany mikrotwardości w obrabianym materiale. Mikrotwardość materiału podłoża po obróbce elektroiskrowej wynosiła średnio około 370 HV_{0,005} (taka samą wartość mikrotwardości miał materiał w stanie wyjściowym). W wyniku obróbki elektroiskrowej otrzymano powłokę Cu-Ti o średniej mikrotwardości 984 HV_{0,005} (nastąpił wzrost mikrotwardości średnio o 266% w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża) i Cu-Mo o średniej mikrotwardości 1093 HV_{0,005} (nastąpił wzrost mikrotwardości średnio o 295% w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża). Mikrotwardość SWC po obróbce elektroiskrowej wzrosła o 187% (powłoka Cu-Ti) i o 165% (powłoka Cu-Mo) w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża. Większa wartość mikrotwardości w SWC powłoki Cu-Ti może być spowodowana powstaniem w niej węglików tytanu. Zastosowanie obróbki laserowej wpłynęło korzystnie na zmiany mikrotwardości powłok elektroiskrowych. Naświetlanie laserowe spowodowało wzrost mikrotwardości powłoki Cu-Mo o 322%, a powłoki Cu-Ti o 241% w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża. Wyniki mikrotwardości przedstawiono na wykresach (rys. 5 i 6).



Rys. 5. Wyniki mikrotwardości powłok Cu-Ti i Cu-Mo

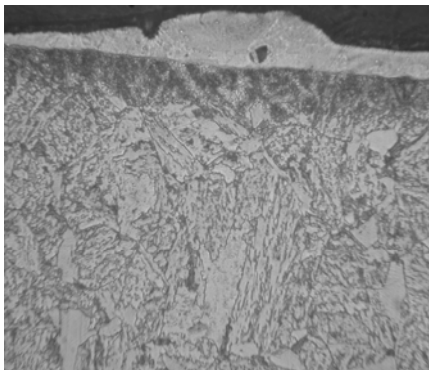
Fig. 5. Microhardness results of coatings Cu-Ti and Cu-Mo



Rys. 6. Wyniki mikrotwardości powłok Cu-Ti i Cu-Mo po obróbce laserowej

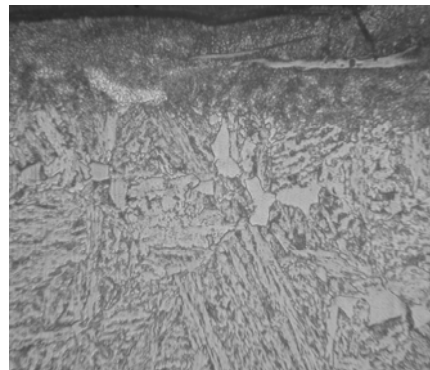
Fig. 6. Microhardness results of laser treated coatings Cu-Ti and Cu-Mo

Na przykładowych fotografiach (rys. 7 i 8) przedstawiono mikrostruktury powłoki Cu-Ti przed i po obróbce laserowej.



Rys. 7. Mikrostruktura powłoki Cu-Ti (pow. 500x)

Fig. 7. Microstructure of Cu-Ti coating (x500 magnification)



Rys. 8. Mikrostruktura powłoki Cu-Ti po obróbce laserowej (pow. 500x)

Fig. 8. Microstructure of Cu-Ti coating after laser treatment (x500 magnification)

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Stosując technologię nakładania powłok elektroiskrowych można poprzez lokalne oddziaływanie kształtować powierzchnie niejednorodne z niejednorodnościami w postaci obszarów zróżnicowań pod względem chropowatości, twardości, a także utworzonych w ten sposób makronierówności.
2. Stosując przetapianie laserowe powłok nakładanych elektroiskrowo uzyskuje się efekt wzrostu objętości obrabianej warstwy, co może być wykorzystane jako czynnik kształtujący niejednorodność powierzchni.
3. Pomiary mikrotwardości wykazały skuteczność stosowania obróbki laserowej powłok elektroiskrowych do utwardzania powierzchni. Planuje się wykorzystanie powłok Cu-Ti i Cu-Mo modyfikowanych wiązką laserową do tworzenia powierzchni niejednorodnych stosowanych w ślizgowych węzłach tarcia.
4. W dalszym etapie niezbędne są badania przyczepności i naprężeń własnych powłok elektroiskrowych i tworzonych tą technologią powierzchni niejednorodnych przed i po obróbce laserowej.

Bibliografia

Tarelnik W. 1997. Technologia elektroiskrowego napawania. Technika, Kijów.

Antoszewski B., Radek N. 2002. Elektroiskrowo nanoszone powłoki tytanowe i molibdenowe. Przegląd Spawalnictwa, nr 8-10: 134-135.

Radek N., Ozimina D., Antoszewski B. 2003. Ocena własności eksploatacyjnych powłok nanoszonych elektroiskrowo. Przegląd Spawalnictwa, nr 11: 15-18.

MANUFACTURE OF HETEROGENEOUS SURFACES BY ELECTRO SPARK DEPOSITION AND LASER BEAM

Summary

The paper shows results of laser treatment of electro spark Cu-Mo and Cu-Ti coatings. The base material was mild steel. Microhardness and macrogeometry of the surface of layers was investigated.

Key words: heterogeneous surface, electro spark deposition, laser treatment