

Radek N.,*
Świdorski J.**

*Centrum Laserowych Technologii Metali,
**Katedra Technologii Mechanicznej i
Metrologii,
Politechnika Świętokrzyska, Kielce, Polska

**WŁASNOŚCI TRIBOLOGICZNE I
STRUKTURA GEOMETRYCZNA
POWIERZCHNI POWŁOK WĘGLKOWYCH
W OSNOWIE MIEDZI PRZED
I PO OBRÓBCE LASEROWEJ**

Wstęp

Obróbkę elektroiskrową zalicza się do grupy metod opartych na wykorzystaniu skoncentrowanego strumienia energii [1]. Jej historia sięga lat czterdziestych i Związku Radzieckiego, gdzie powstała jednocześnie z obróbką elektroerozyjną [2]. Dokładniej została zbadana w latach siedemdziesiątych i wtedy to też została szerzej rozpowszechniona w przemyśle do nanoszenia trudnotopliwych materiałów na metale i ich stopy.

Idea metody elektroiskrowego nanoszenia powłok opiera się na zjawisku wyładowania iskrowego między elektrodami (przedmiot obrabiany jest katodą, anodą jest elektroda erodująca) w atmosferze gazu, zwykle powietrza, rzadziej gazów ochronnych. Podczas wyładowania następuje erozja anody wykonanej z materiału powłokowego i nanoszenie cząstek materiału anody na pokrywany przedmiot z równoczesnym jego nagrzewaniem w okolicy styku obu elektrod [1 ÷ 3].

Obróbka elektroiskrowa posiada zalety do których można zliczyć: możliwość wykorzystania różnych materiałów powłokowych, bardzo dobra adhezja powłoki z podłożem (połączenie dyfuzyjne), brak odkształceń materiału, możliwość wykonywania powłok miejscowych oraz pokrywania skomplikowanych kształtów, brak konieczności wstępnego przygotowania powierzchni przed nanoszeniem elektroiskrowym, tanie i proste urządzenia do nanoszenia powłok (o ręcznym posuwie elektrody).

Natomiast do wad obróbki elektroiskrowej możemy zaliczyć: brak możliwości stosowania materiałów nie przewodzących prądu (zarówno elektrod i materiałów podłoża), znaczna chropowatość powłoki w stosunku do materiału podłoża, niezbyt duża powtarzalność właściwości powłok nanoszonych przy użyciu urządzeń ręcznych, powłoki posiadają naprężenia rozciągające.

Szczególnie interesująco przedstawia się możliwość wykorzystania obróbki laserowej do polepszenia właściwości powłok otrzymanych elektroiskrowo [4 ÷ 10]. Wiązka laserowa może zostać wykorzystana do wygładzania oraz uszczelniania tych powłok. Zastosowanie wiązki laserowej do wygładzania powłok otrzymanych elektroiskrowo powinno zapewnić zmniejszenie chropowatości powierzchni i zmianę kształtu profilu nierówności. Do wygładzania zalecane są niewielkie gęstości mocy i duże średnice wiązki laserowej w celu przetopienia warstwy na niewielką głębokość. Celem zagęszczania laserowego jest zmniejszenie porowatości powłoki oraz likwidacja rys, rozwarstwień, pęknięć powierzchni powłoki.

W ramach aktualnie zrealizowanych badań odniesiono się do opisu struktury geometrycznej powierzchni (SGP) oraz badań tribologicznych powłok węglkowych w osnowie miedzi przed i po obróbce laserowej.

Urządzenia i materiały stosowane w badaniach

Przedmiotem badań były powłoki nakładane elektrodą WC-Cu (50 % WC, 50 % Cu) o przekroju 4×6 mm (anoda) metodą elektroiskrową na próbki wykonane ze stali C45 (katoda). Skład chemiczny stali C45 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Skład chemiczny stali C45

Pierwiastki	C	Mn	Si	P	S
Zawartość %	0,42 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,80	0,10 ÷ 0,40	0,04	0,04

Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenie (o ręcznym przesuwie elektrody) produkcji ukraińskiej, model EIL-8A. Opierając się na doświadczeniach własnych oraz zaleceniach producenta urządzenia przyjęto następujące parametry nanoszenia powłok elektroiskrowych: napięcie $U = 230$ V, pojemność kondensatorów $C = 150$ μ F, natężenie prądu $I = 0,7$ A.

Obróbkę laserową przeprowadzono laserem Nd:YAG (impulsowy tryb pracy), model BLS 720. Próbkę z powłokami elektroiskrowymi naświetlano laserowo przy następujących parametrach obróbki: średnica plamki laserowej $d = 0,7$ mm; moc lasera $P = 60$ W; prędkość przemieszczania wiązki $v = 250$ mm/min; odległość dysza-przedmiot obrabiany $\Delta f = 6$ mm; czas trwania impulsu $t_i = 0,45$ ms; częstotliwość powtarzania $f = 50$ Hz; skok przesuwu wiązki $S = 0,4$ mm; gaz osłonowy azot $Q = 25$ l/min.

Wyniki

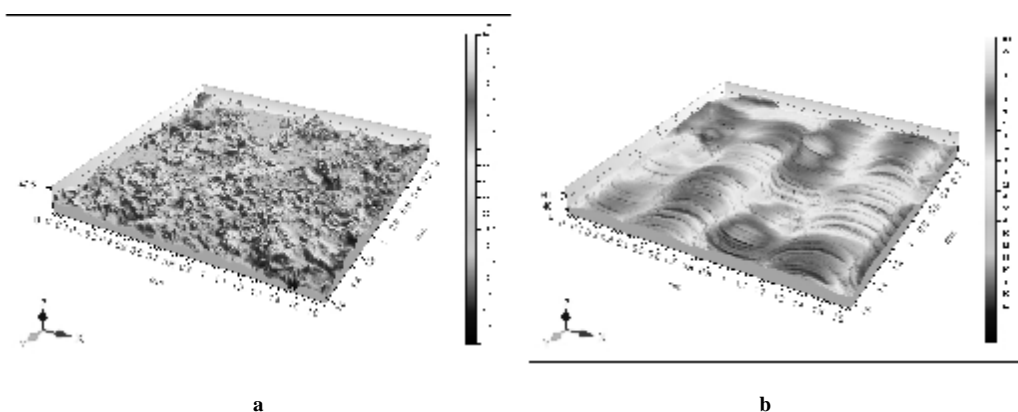
Pomiary struktury geometrycznej powierzchni przeprowadzono na profilometrze optycznym Talysurf CCI wykorzystujący opatentowany przez firmę Taylor Hobson algorytm korelacji koherencji, umożliwiający pomiar z rozdzielczością w osi z poniżej 0,8 nm. Wynik pomiarów zapisywany jest w macierzy 1024×1024 punktów pomiarowych co przy zastosowanym obiektywie $\times 10$ daje mierzony obszar $1,65 \text{ mm} \times 1,65 \text{ mm}$ i rozdzielczość poziomą $1,65 \mu\text{m} \times 1,65 \mu\text{m}$.

Trójwymiarowe powierzchnie i ich analiza z wykorzystaniem oprogramowania TalyMap Platinum pozwoliły na precyzyjne poznanie struktury geometrycznej badanych powierzchni. Na rysunkach 1 ÷ 4 przedstawiono obrazy topografii powierzchni, rozkłady rzędnych z krzywymi nośności, diagramy izotropowości oraz funkcję autokorelacji próbek przed i po obróbce laserowej. W tabeli 2 zestawiono najważniejsze parametry struktury geometrycznej powierzchni badanych próbek.

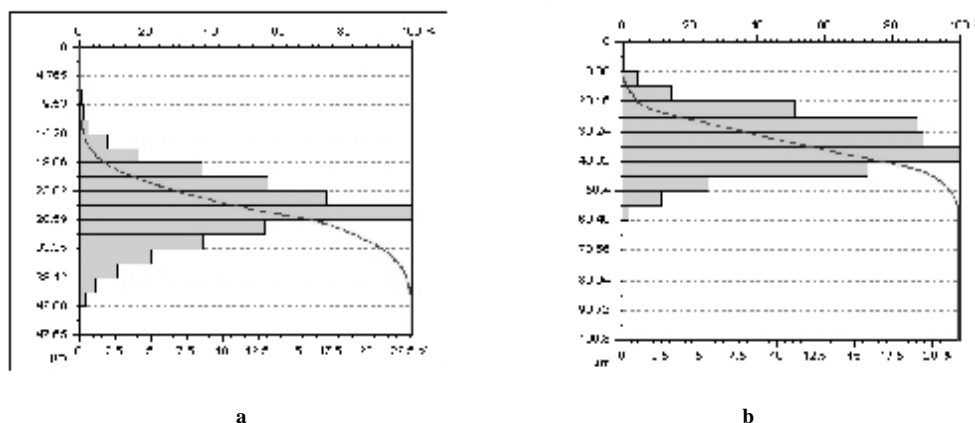
Tabela 2

Parametry struktury geometrycznej powierzchni

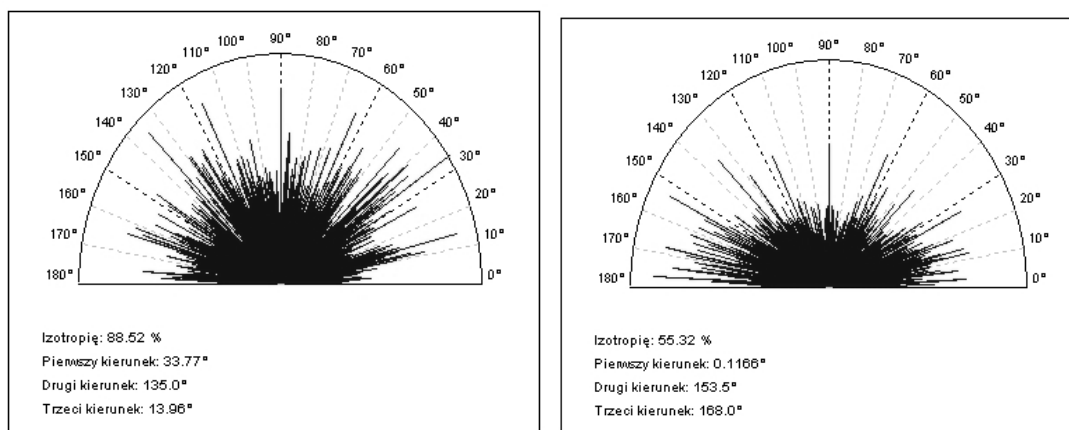
Parametry SGP	Powłoka	
	WC-Cu	WC-Cu + laser
Sa [μm]	4,02	6,95
Sq [μm]	5,24	8,48
Ssk	0,15	0,02
Sku	3,89	2,77
Sp [μm]	26,44	34,03
Sv [μm]	21,21	66,76
Sz [μm]	47,65	100,80



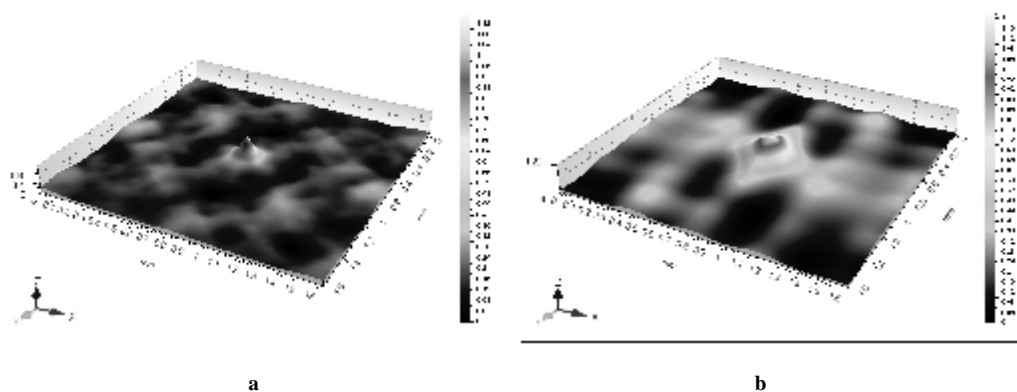
Rys. 1 – Topografia powierzchni próbek:
a – przed obróbką laserową;
b – po obróbce laserowej



Rys. 2 – Rozkład rzędnych i krzywe nośności próbek:
a – przed obróbką laserową;
b – po obróbce laserowej



Rys. 3 – Izotropowość próbek:
a – przed obróbką laserową;
b – po obróbce laserowej



Rys. 4 – Funkcja autokorelacji próbek:
a – przed obróbką laserową;
b – po obróbce laserowej

Większą wartość średniego arytmetycznego odchylenia chropowatości powierzchni Sa – podstawowego parametru amplitudowego do ilościowej oceny stanu analizowanej powierzchni zarejestrowano dla próbki po obróbce laserowej, dla próbki przed obróbką jest on prawie dwukrotnie mniejszy. Podobną tendencję zaobserwowano dla średniokwadratowego odchylenia chropowatości powierzchni Sq . Uzupełniającą informację na temat ukształtowania powierzchni badanych elementów dają parametry amplitudowe: współczynnik skośności - asymetrii Sku oraz współczynnik skupienia - kurtozy Ssk . Parametry te są wrażliwe na występowanie na powierzchni miejscowych wzniesień czy wgłębień, również defektów. Parametr Ssk , w przypadku obu próbek ma wartość dodatnią, dla próbki przed obróbką bliską zeru co świadczy o symetrycznym położeniu rozkładu rzędnych względem płaszczyzny średniej. Uzyskane wartości kurtozy zbliżone do $Sku = 3$ świadczą o tym, że rozkład rzędnych dla obu próbek jest zbliżony do rozkładu normalnego.

Próbka przed obróbką laserowa posiada strukturę izotropową losową ($Iz = 88,52\%$), natomiast po obróbce jest to struktura okresowa znajdująca się w obszarze przejściowym pomiędzy strukturami izotropowymi a anizotropowymi ($Iz = 55,32\%$). Taki stan rzeczy potwierdza kształt funkcji autokorelacji obu powierzchni, okrągły i symetryczny dla powierzchni przed obróbką oraz asymetryczny i wydłużony dla powierzchni po obróbce laserowej.

Badania oporów tarcia (tarcie technicznie suche) przeprowadzono na testerze tribologicznym T-01M typu trzpień-tarcza. Jako próbki stosowano pierścienie ze stali niestopowej specjalnej C45, na które naniesiono elektroiskrowo powłoki WC-Cu (przed i po obróbce laserowej). Przeciwipróbką była kulka o średnicy $\phi 6,3$ mm wykonana ze stali 100Cr6.

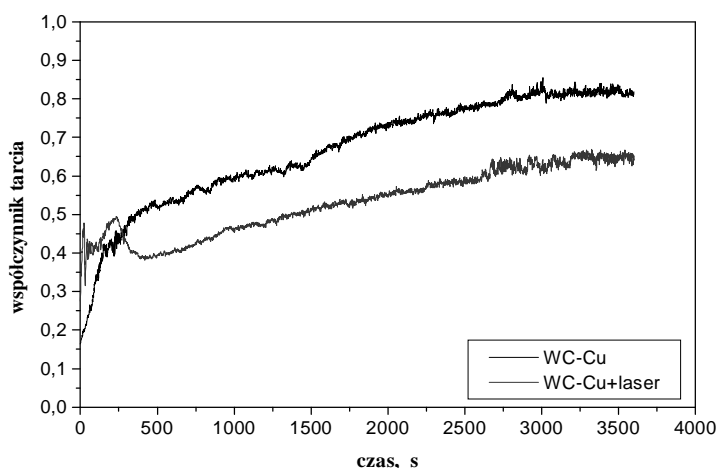
Badania na testerze przeprowadzono przy następujących parametrach tarcia:

- prędkość liniowa $v = 0,8$ m/s;
- czas próby $t = 3600$ s;
- zakres zmian obciążenia $Q = 4,9; 9,8; 14,7$ N.

Na przykładowym wykresie (rys. 5) przedstawione są przebiegi współczynnika tarcia w funkcji czasu próby przy obciążeniu 14,7 N. Wykres, który ilustruje rysunek 5 dotyczy badania powłoki WC-Cu przed i po modyfikacji wiązką laserową.

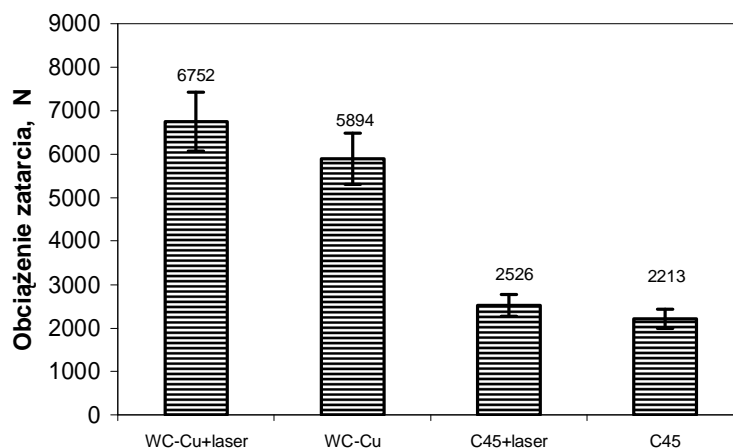
Podczas tarcia technicznie suchego badanych powłok nastąpiło przekształcenie technologicznej warstwy powierzchniowej (TWP) w eksploatacyjną warstwę powierzchniową (EWP). Efekt ten nastąpił głównie na skutek nacisków i prędkości ślizgania oraz oddziaływania atmosfery otoczenia bliskiego z badaną powierzchnią. Obserwowano stabilizację stanu przeciwwżyciowej warstwy powierzchniowej (PWP).

Na przebiegu (rys. 5) dotyczącym powłoki WC-Cu można zaobserwować, że stabilizacja współczynnika tarcia następuje po upływie około 3000 sekund, a wartość jej oscyluje na poziomie $0,80 \div 0,82$. W przypadku powłoki WC-Cu po modyfikacji laserowej widzimy, że stabilizacja współczynnika tarcia następuje po upływie 3200 sekund, a wartość jej oscyluje na poziomie $0,61 \div 0,64$. Średni współczynnik tarcia powłoki WC-Cu jest około 22 % większy od współczynnika tarcia powłoki WC-Cu po naświetlaniu laserowym (w momencie ich stabilizacji). Główną przyczyną tego efektu może być likwidacja wad powłoki (mikropęknięć oraz porów) po obróbce laserowej.



Rys. 5 – Wykres zmian współczynnika tarcia w funkcji czasu powłoki WC-Cu przed i po obróbce laserowej

Badania odporności na zacieranie wykonano na testerze tribologicznym T-09, w którym węzeł tarcia składa się z walca i dwóch pryzm. Jako próbki stosowano pryzmy z naniesionymi powłokami WC-Cu oraz stal C45 (nieobrobione i obrobione laserem), natomiast przeciwpróbką był wałek o średnicy $\varnothing = 6,3$ mm wykonany z hartowanej stali węglowej. Do badań użyto 3 pary kinematyczne z każdego wariantu materiałowego, co umożliwiło uśrednienie wyników badań. Podczas testu stosowano smarowanie zanurzeniowe w oleju parafinowym. Na rys. 6 przedstawiono zbiorczą informację o średnich wartościach obciążenia zatarcia dla próbek przed i po obróbce laserowej. Wynika z nich, że zastosowanie obróbki laserowej spowodowało wzrost siły obciążającej powodującej zatarcie zarówno dla powłok nałożonych elektroiskrowo jak i stali C45.



Rys. 6 – Średnie wartości obciążenia zatarcia

Wnioski

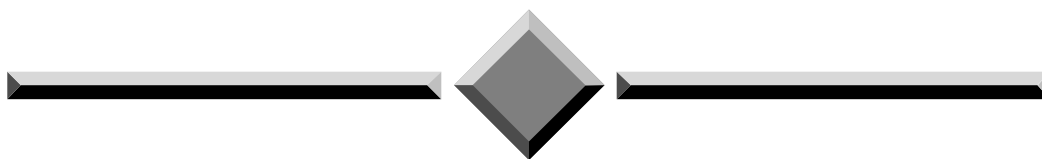
1. Skoncentrowanym strumieniem wiązki laserowej można skutecznie modyfikować stan warstwy wierzchniej powłok elektroiskrowych i wpływać w ten sposób na ich właściwości użytkowe.
2. Parametry struktury geometrycznej powierzchni powłok elektroiskrowych mają mniejsze wartości w odniesieniu do parametrów SGP powłok po obróbce laserowej.
3. Podczas badań tribologicznych uzyskany średni współczynnik tarcia powłoki WC-Cu jest około 22 % większy od współczynnika tarcia powłoki WC-Cu po modyfikacji laserowej (w momencie ich stabilizacji).
4. Obróbka laserowa spowodowała wzrost siły obciążającej powodującej zatarcie badanych materiałów. Powłoki WC-Cu obrabiane laserem o około 13 % w stosunku do próbek z powłokami bez obróbki laserowej.
5. Dalsze badania będą ukierunkowane na analizie morfologii i składu fazowego powłok przed i po obróbce laserowej.

Literatura

1. Praca zbiorowa pod redakcją Petrowa J.: Elektroiskrowe legiowanie metallicznych powierzchni. Kisziniew 1985.
2. Łazarenko B. R. Łazarenko N. I.: Elektroiskrowaja obrabotka tokoprovodiaszczih materiałow. Akademia Nauk CCCP, Moskwa 1958.
3. Galinov I.V., Luban R.B.: Mass transfer trends during electrospark alloying. Surface and Coatings Technology, 79 (1996), 9-18.
4. Radek N.: Laser treatment of electro-spark WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ coatings. Proc. Inter. Conf. Nekonvenčne Technologie NT'10, 22.06.2010 r, Strecno, Slovakia, 1-7.
5. Radek N.: Experimental investigations of the Cu-Mo and Cu-Ti electro-spark coatings modified by laser beam. Advances in Manufacturing Science and Technology, Vol. 32, 2 (2008), 53-68.
6. Radek N., Antoszewski B.: Influence of laser treatment on the properties of electro-spark deposited coatings. Kovove Materialy-Metallic Materials 1 (2009), 31-38.
7. Radek N., Bartkowiak K.: Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam. Physics Procedia (Elsevier), 5 (2010), 417-423.
8. Radek N., Szalapko J.: Manufacture of heterogeneous surfaces by electro spark deposition and laser beam. Herald of Aeroenginebuilding, 2 (2006), 208-210.
9. Radek N., Szalapko J.: Tribological properties of electro spark molybdenum coatings after laser treatment. Problems of Tribology, 1 (2006), 76-81.
10. Radek N., Wajs E., Luchka M.: The WC-Co electrospark alloying coatings modified by laser treatment. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 3-4 (2008), 197-201.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego N N503 150736

Надійшла 03.10.2011



ЧИТАЙТЕ

журнал

“Problems of Tribology”

во всемирной сети

INTERNET !

<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>