

Radek N.,***Szalapko J.*****Katedra Inżynierii Eksploatacji
Politechnika Świętokrzyska,
Kielce, Polska**Khmelnitskij Uniwersytet Narodowy,
Khmelnitskij, Ukraina**POWŁOKI ELEKTROISKROWE WC-CO
MODYFIKOWANE WIĄZKĄ LASEROWĄ****Wstęp**

Obróbka elektroiskrowa i obróbka laserowa należą do grupy metod, które wykorzystują skoncentrowany strumień energii. Obróbka elektroiskrowa dynamiczny rozwój ma już za sobą, obecnie zajmuje ugruntowaną pozycję wśród obróbek powierzchniowych. Obróbka laserowa cały czas przeżywa rozwój również w zakresie inżynierii powierzchni.

Modyfikacja wiązką laserową powłok otrzymywanych różnymi technologiami jest przedmiotem badań wielu znaczących ośrodków naukowych w kraju i za granicą. Poprzez odpowiednie sterowanie parametrami lasera (np. moc, prędkość skanowania, czas impulsu) można kształtować warstwy o różnych własnościach eksploatacyjnych, do których można zaliczyć: geometrię powierzchni, mikrotwardość, stan naprężeń, odporność na zużycie itd.

Według autorów prac [1 ÷ 2] proces elektroiskrowego nakładania powłok można przedstawić w następujący sposób:

- proces umocnienia wynika z osadzania się na powierzchni katody materiału anody. Największy efekt uzyskuje się stosując jako materiał anody materiały o największej twardości i odporności na zużycie, tj. węgliki wolframu, tytanu, chromu itd.;
- utwardzona warstwa powierzchniowa jest rezultatem wzajemnego oddziaływania elementów anody i katody, tworząc roztwory stałe, związki chemiczne, tlenki i azotki;
- efekt utwardzenia wynika zarówno z przeniesienia i oddziaływania materiałów elektrod, jak i impulsowego działania wysokiej temperatury i ciśnienia, które prowadzą do powstania skrajnie nierównowagowych faz.

Postęp w konstrukcji urządzeń do obróbki elektroiskrowej spowodował, że współcześnie stosowane są różne jej odmiany spełniające zadania wytwarzania powłok [3 ÷ 5], a także kształtowania mikrogeometrii powierzchni [6].

Powłoki elektroiskrowe posiadają pewne niedostatki, co z kolei istotnie obniża ich właściwości użytkowe. Głównie podnoszonymi wadami tej technologii są stosunkowo duże chropowatości oraz silny stan naprężeń rozciągających powłok nałożonych elektroiskrowo. Obecnie te dwa niepożądane efekty ukształtowanej powłoki ogranicza się obróbką mechaniczną np. poprzez nagniatanie diamentowymi kulkami, rolowanie. Chropowatość powierzchni powłoki może być kilkanaście razy większa od chropowatości materiału podłoża. Alternatywną metodą, którą można eliminować wady powłok elektroiskrowych jest ich obróbka laserowa.

W wyniku proponowanej obróbki laserowej może nastąpić uszczelnienie powłoki oraz likwidacja jej defektów powierzchniowych np. rys, rozwarstwień, mikropęknięć.

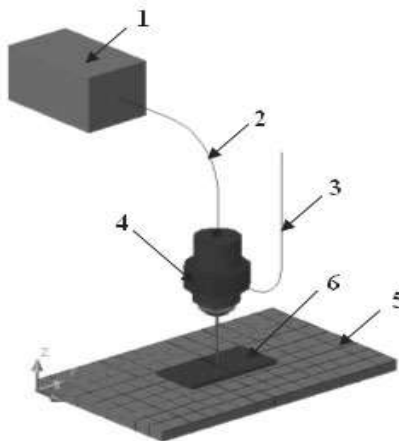
W pracy zajęto się określeniem wpływu modyfikacji laserowej na wybrane właściwości powłok WC-Co naniesionych elektroiskrowo. Ocenę właściwości powłok po naświetlaniu laserowym przeprowadzono na podstawie: pomiarów chropowatości, analizie mikrostruktury, oraz pomiarów mikrotwardości.

Materiały i parametry obróbki

Przedmiotem badań były powłoki nakładane elektrodą WC-Co (97 % WC i 3 % Co) o przekroju 3×4 mm (anoda) metodą elektroiskrową na podłożu ze stali 45 (katoda).

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 $C = 300$ μ F, natężenie prądu $I = 2,4$ A.

Obróbkę laserową przeprowadzono laserem Nd:YAG (impulsowy tryb pracy), model BLS 720. Na rysunku 1 przedstawiono schemat stanowiska do obróbki laserowej. Próbkę z powłokami elektroiskrowymi naświetlano laserowo przy następujących parametrach obróbki: średnica plamki laserowej $d = 0,7$ mm; moc lasera $P = 20$ W; prędkość przemieszczania wiązki $V = 250$ mm/min; odległość dysza-przedmiot obrabiany $\Delta f = 1$ mm; czas trwania impulsu $t_i = 0,4$ ms; częstotliwość powtarzania $f = 50$ Hz; skok przesuwu wiązki $S = 0,4$ mm.



Rys. 1 – Schemat stanowiska do obróbki laserowej:
 1 – laser Nd:YAG; 2 – światłowod;
 3 – przewód doprowadzający gaz ochronny lub sprężone powietrze;
 4 – głowica; 5 – stół roboczy; 6 – próbka

Analiza wyników badań

Jedną z głównych wad powłok naniesionych obróbką elektroiskrową jest ich duża chropowatość końcowa. Dotychczas przeprowadzone badania oraz analiza literatury wykazują, że kształtowanie powierzchni zachodzi w wyniku nakładania się na siebie kraterów będących wynikiem erozji podłoża jak również grzbietów utworzonych z przemieszczających się na powierzchnię cząstek materiału powlekającego elektrody. Tak powstała powierzchnia posiada szereg następujących cech: regularność, brak kierunkowości, duże promienie zaokrągleń wierzchołków mikronierówności. W wielu opracowaniach naukowych analizuje się wpływ parametrów procesu na chropowatość powierzchni. Sterując tymi parametrami można uzyskać zakładane zmiany mikrogeometrii powierzchni. Jest to zatem sposób na wytwarzanie powierzchni o zadanej rozwiniętej powierzchni chropowatej zwanej reliefem powierzchniowym.

Pomiary chropowatości przeprowadzono w Laboratorium Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej za pomocą przyrządu TALYSURF 4 przy wykorzystaniu programu SUFORM.

Pomiary chropowatości powłok WC-Co wykonano w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach. Pierwszy pomiar był wykonany zgodnie z ruchem przemieszczania się elektrody, natomiast drugi pomiar był prostopadły do ściegów skanujących. Z dwóch pomiarów obliczono wartość średnią parametru R_a dla danej powłoki.

Pomiary powłok WC-Co obrobionych laserem wykonano w kierunku prostopadłym i równoległym do osi ścieżek wykonanych wiązką laserową, a następnie obliczono wartość średnią chropowatości dla danej powłoki. W większości prac podawane są wyniki pomiarów chropowatości dla profili mierzonych wzdłuż osi ścieżek otrzymanych laserem, co nie odzwierciedla rzeczywistego obrazu mikrogeometrii powierzchni po tej obróbce. Maksymalne wysokości chropowatości występują bowiem w kierunku prostopadłym do osi ścieżek.

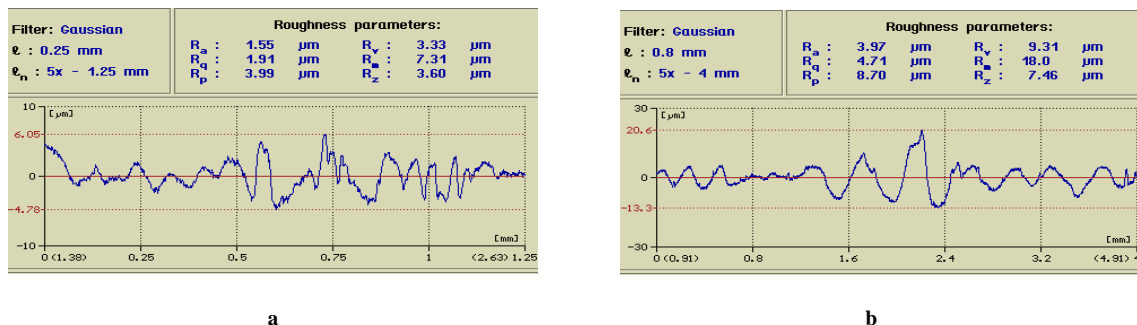
Powłoki WC-Co posiadały chropowatość $R_a = 1,55 \div 2,07 \mu\text{m}$, natomiast po obróbce laserowej chropowatość wynosiła od $2,81 \div 3,97 \mu\text{m}$. Próbki ze stali 45, na które nanoszono powłoki miały chropowatość $R_a = 0,36 \div 0,38 \mu\text{m}$.

Przykładowe wyniki pomiarów parametrów mikrogeometrii badanych próbek przedstawiono na rysunku 2.

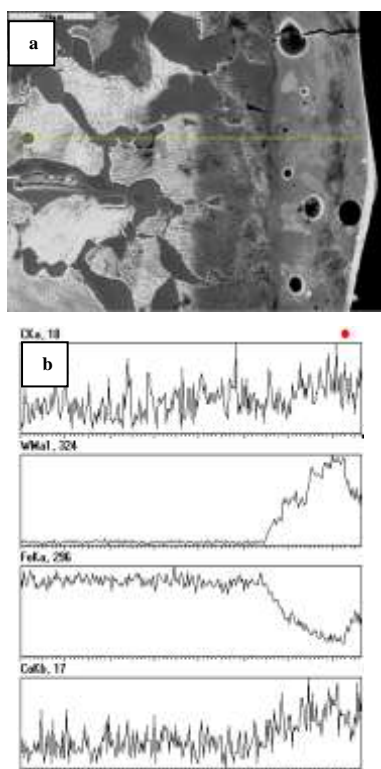
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że obróbka laserowa powoduje wzrost chropowatości powłok WC-Co. Większa chropowatość powłok WC-Co po obróbce laserowej jest efektem ruchu ciekłego metalu wywołanego siłami napięcia powierzchniowego. Niejednorodny rozkład temperatury w wiązce laserowej (mod TEM_{00}) powoduje, że profil powierzchni po zakrzepnięciu jest również niejednorodny i w pewnym sensie odzwierciedla rozkład energii w obszarze przetopionym.

W przypadku obróbki laserem impulsowym przyjmuje się, że głównym czynnikiem decydującym o profilu powierzchni po zakrzepnięciu jest ciśnienie par materiału obrabianego, które powoduje „wyrzucanie” materiału z centralnego obszaru i powstanie charakterystycznych wypływek na granicy z obszarem nieprzetopionym.

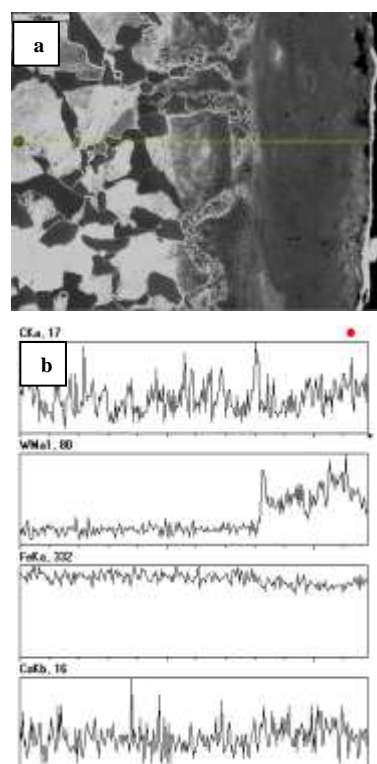
Dalszy etap badań polegał na analizie mikrostruktur powłok WC-Co przed i po obróbce laserowej. Do badań mikrostruktury wykorzystano elektronowy mikroskop skaningowy Joel typ JSM-5400.



Rys. 2 – Przykładowe wyniki pomiarów parametrów mikrogeometrii dla powłoki WC-Co nałożonej elektroiskrowo na stal 45: a – przed obróbką laserową (pomiar wykonany w kierunku równoległym do ruchu przemieszczania się głowicy powlekającej); b – po obróbce laserowej (pomiar wykonany w kierunku prostopadłym do osi ścieżek wykonanych wiązką laserową)



Rys. 3 – Mikrostruktura i rozkład liniowy pierwiastków w powłoce WC-Co nałożonej elektroiskrowo



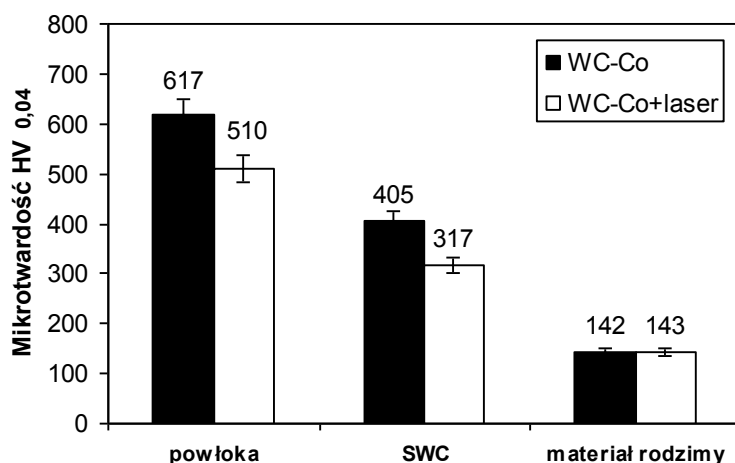
Rys. 4 – Mikrostruktura i rozkład liniowy pierwiastków w powłoce WC-Co nałożonej elektroiskrowo po przetopie laserem Nd:YAG

Na fotografii (rys. 3, a) przedstawiono przykładowy widok mikrostruktury powłoki WC-Co stopowanej elektroiskrowo. W oparciu o uzyskane wyniki stwierdzono, że grubość uzyskanych warstw wyniosła od 20÷30 μm , natomiast zasięg strefy wpływu ciepła (SWC) w głąb materiału podłoża ok. 15÷20 μm . Na przedstawionej fotografii mikrostruktury widoczna jest wyraźna granica pomiędzy powłoką, a podłożem oraz można zaobserwować pory i mikropełnienia.

Analiza liniowa (rys. 3, b) powłoki WC-Co wykazała nierównomierny rozkład pierwiastków w tej powłoce. Można wyróżnić strefy, w których występują znaczne ilości W, Co oraz Fe. Ponadto na wykresie rozkładu liniowego powłoki WC-Co widoczne są ślady połączenia dyfuzyjnego powłoki z podłożem. W badanej powłoce brak jest wyraźnie widocznej segregacji składników. Analizując wykres rozkładu liniowego powłoki WC-Co (rys. 3, b) obserwuje się zwiększoną zawartość węgla w ukształtowanej obróbką elektroiskrową powłoce. Jest to przykład dyfuzji wstępującej, która polegała na przemieszczaniu się z materiału podłoża (stali 45) węgla (w wyniku oddziaływań cieplnych) do kształtowanej elektroiskrowo technologicznej warstwy powierzchniowej (TWP).

W wyniku modyfikacji wiązką laserową powłok WC-Co naniesionych elektroiskrowych i następującego po nim krzepnięcia, ich skład chemiczny uległ zmianie. Obróbka laserowa spowodowała ujednorodnienie składu chemicznego powłoki (rys. 4, b). Nastąpiło również rozdrobnienie struktury i krystalizacja faz silnie przesyconych wskutek występowania znacznych gradientów temperatur oraz uzyskiwania dużych prędkości chłodzenia. Wytworzone w wyniku stopowania laserowego TWP nie posiadają mikropęknięć i porów (rys. 4, a) oraz nieciągłości na granicy powłoka - podłoże. Grubość naświetlanych laserowo powłok WC-Co mieści się w zakresie od $40 \div 50 \mu\text{m}$. Powstała w wyniku stopowania laserowego SWC ma zasięg $30 \div 40 \mu\text{m}$, ponadto w strefie wpływu ciepła obserwuje się zwiększoną zawartość węgla.

W ostatnim etapie badań wykonano pomiary mikrotwardości metodą Vickersa, stosując obciążenie 40 G. Odciski penetratorem wykonano na zglądach prostopadłych w trzech strefach: w powłoce (warstwie białej), w strefie przetopu powłoki oraz w strefie wpływu ciepła (SWC), jak również w materiale rodzimym. Wyniki pomiarów mikrotwardości dla powłok elektroiskrowych WC-Co przed i po obróbce laserowej przedstawiono na wykresie (rys. 5).



Rys. 5 – Wyniki pomiarów mikrotwardości

Zastosowanie obróbki elektroiskrowej spowodowało zmiany mikrotwardości w obrabianym materiale. Mikrotwardość materiału podłoża po obróbce elektroiskrowej wynosiła średnio około $142 \text{ HV}_{0,04}$ (taka samą wartość mikrotwardości miał materiał w stanie wyjściowym). Nakładając obróbkę elektroiskrową powłoki WC-Co uzyskano znaczny wzrost mikrotwardości w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża. Powłoka WC-Co posiadała średnią mikrotwardość $617 \text{ HV}_{0,04}$ (nastąpił wzrost mikrotwardości średnio o 335 % w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża). Mikrotwardość SWC po obróbce elektroiskrowej wzrosła o 185 % w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża.

Zastosowanie obróbki laserowej obniżyło nieznacznie mikrotwardość powłok elektroiskrowych. Naświetlanie laserowe spowodowało spadek mikrotwardości powłok WC-Co o 21 % w odniesieniu do tych powłok bez naświetlania laserowego. Nieznaczny spadek mikrotwardości badanych powłok (po obróbce laserowej) może mieć wpływ na poprawę ich właściwości plastycznych, co ma istotne znaczenie podczas pracy przy dużych obciążeniach np. narzędzi wiertniczych w przemyśle wydobywczym, elementów pras stosowanych w ceramice budowlanej.

Podsumowanie

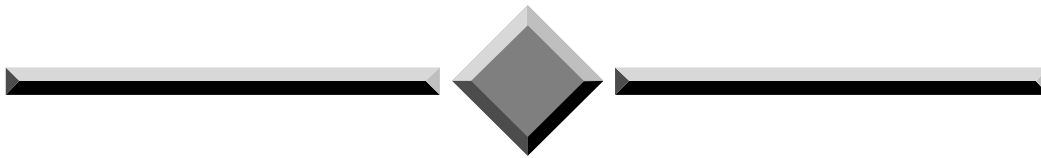
Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Skoncentrowanym strumieniem wiązki laserowej można skutecznie modyfikować stan warstwy wierzchniej powłok elektroiskrowych i wpływać w ten sposób na ich właściwości użytkowe.
2. Chropowatość powłok elektroiskrowych po obróbce laserowej jest dwukrotnie większa w stosunku do chropowatości powłok bez tej obróbki.
3. W wyniku laserowego przetopienia powłok elektroiskrowych i następującego po nim krzepnięcia otrzymujemy rozdrobnienie struktury, ujednorodnienie składu chemicznego oraz likwidację mikropęknięć i porów.
4. Obróbka laserowa powłok elektroiskrowych spowodowała obniżenie mikrotwardości powłok WC-Co o 21 % w odniesieniu do tych powłok bez naświetlania laserowego.
5. W dalszym etapie badań za konieczne wydaje się wykonanie pomiarów naprężeń własnych oraz badań tribologicznych i odporności korozyjnej powłok elektroiskrowych przed i po obróbce laserowej.

Literatura

1. Praca zbiorowa pod redakcją Petrowa J.: Elektroiskrowe legiowanie metalicznych powierzchni. Kisziniew, 1985.
2. Samsonow G., Wierhotyrow A., Bowkun G., Sycziew B.: Elektroiskrowe legiowanie metalicznych powierzchni. Wydawnictwo „Naukowa dumka”, Kijew 1976.
3. Antoszewski B., Radek N.: Elektroiskrowo nanoszone powłoki tytanowe i molibdenowe. Przegląd Spawalnictwa 8-10 (2002).
4. Goto A., Moro T., Matsukawa K., Akiyoshi M., Saito N., Mohri N.: Development of electrical discharge coating method. Proceeding of International Symposium for Electro-Machining XIII, Bilbao 2001.
5. Magara T., Saito N., Mohri N., Goto A.: Formation of hard layer on metallic material by EDM. Proceeding of International Symposium for Electro-Machining XII, Achen 1998.
6. Michajljuk A. I.: Umienszienie szerochawatosti eliektroiskrowych pokrytij pri posledujuszcziej obrabotkie grafitowym eliektrodom. Elektronnaja Obrabotka Materialow 3 (2003).

Надійшла 29.06.2006

**ЧИТАЙТЕ**

журнал

“Problems of Tribology”

во всемирной сети

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