

Norbert RADEK¹

WPLYW OBRÓBKI LASEROWEJ NA WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWZUŻYCIOWYCH POWŁOK ELEKTROISKROWYCH

W pracy badano wpływ obróbki laserowej na właściwości powłok nanoszonych elektroiskrowo. Ocenę właściwości powłok po obróbce laserowej przeprowadzono na podstawie obserwacji mikrostruktury, pomiarów chropowatości oraz badań odporności korozyjnej. Badania przeprowadzono wykorzystując elektrody WC-Co, które zostały wytworzone poprzez spiekanie nanostrukturalnych proszków metodą impulsowo plazmowego spiekania PPS. Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenie produkcji ukraińskiej, model EIL-8A. Obróbkę laserową nałożonych powłok elektroiskrowych wykonano laserem Nd:YAG, model BLS 720.

1. WSTĘP

Wytwarzanie powłok obróbką elektroiskrową polega na wykorzystaniu energii wyładowania iskrowego do przenoszenia masy materiału erodowanego z elektrody, stanowiącej źródło materiału stopującego, na elektrodę ujemną stanowiącą materiał pokrywany [1÷7]. Sam proces wyładowania następuje w wyniku zbliżenia elektrod i zachodzić może w atmosferze próżni, gazu obojętnego czy też powietrza. Zjawiska fizyczne poprzedzające i towarzyszące samemu procesowi wyładowania mają złożoną naturę i ich przebieg nie jest do końca wyczerpująco opisany.

Podczas procesu nanoszenia powłok obróbką elektroiskrową występują następujące zjawiska fizyczne: wzrost natężenia pola elektrycznego wraz ze zbliżaniem się elektrod, przebicie elektryczne, jonizacja gazu w szczelinie (z gazem lub próżnią), powstanie kanału plazmowego, promieniowanie świetlne i ciepłe oraz parowanie, zwarcie elektrod, mechaniczne oddziaływanie elektrod, erozja katody i anody, przenoszenie materiału, formowanie się powłoki, dyfuzja i krzepnięcie.

Cechą charakterystyczną powłok nanoszonych elektroiskrowo jest to, że mają one specyficzną, nie trawiącą się strukturę - pozostają białe. Warstwa wierzchnia kształtowana jest w warunkach lokalnego oddziaływania wysokiej temperatury i dużych nacisków. Wartości podstawowych parametrów obróbki elektroiskrowej są następujące [8]:

- ciśnienie fali uderzeniowej od iskry elektrycznej wynosi $(2÷7) \cdot 10^3$ GPa,
- temperatura osiąga wartości rzędu $(5÷40) \cdot 10^3$ °C.

¹ Politechnika Świętokrzyska, Centrum Laserowych Technologii Metali, Kielce

Współczesne zastosowania przemysłowe obróbki elektroiskrowej obejmują następujące dziedziny: przemysł motoryzacyjny, przemysł kosmiczny, przemysł lotniczy, przemysł okrętowy, przemysł zbrojeniowy, przemysł energetyczny, mechanika precyzyjna, produkcja narzędzi oraz medycyna. Powłoki elektroiskrowe posiadają pewne niedostatki, co z kolei istotnie obniża ich właściwości użytkowe. Alternatywną metodą, którą można eliminować wady powłok elektroiskrowych jest ich obróbka laserowa [9÷12]. W wyniku proponowanej obróbki laserowej może nastąpić uszczelnienie powłoki oraz likwidacja jej defektów powierzchniowych np. rys, rozwarstwień, mikropęknięć.

W pracy przedstawiono informacje dotyczące technologii wytwarzania i badania powłok przeciwzużyciowych, nakładanych metodą elektroiskrową przed i po obróbce laserowej. Wymieniona technologia jest przedmiotem systematycznych badań na Politechnice Świętokrzyskiej, gdzie zgromadzono niezbędne urządzenia do wytwarzania i badania powłok nanoszonych elektroiskrowo oraz ich modyfikacji laserowej. W ramach aktualnie realizowanych badań odniesiono się do pomiarów chropowatości i badań odporności korozyjnej oraz obserwacji mikrostruktury powłok WC-Co, naniesionych elektroiskrowo przed i po obróbce laserowej.

2. MATERIAŁY I PARAMETRY OBRÓBK

Przedmiotem badań były powłoki nakładane elektrodami WC-Co (95% WC, 5% Co) w kształcie walca o wymiarach $\Phi 5\text{mm} \times 10\text{mm}$ (anody) metodą elektroiskrową na próbki wykonane ze stali C45 (katoda). Elektrody zostały wytworzone metodą impulsowo plazmowego spiekania PPS na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej. Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenie produkcji ukraińskiej, model EIL-8A. Opierając się na doświadczeniach własnych oraz zaleceniach producenta urządzenia przyjęto następujące parametry nanoszenia powłok elektroiskrowych:

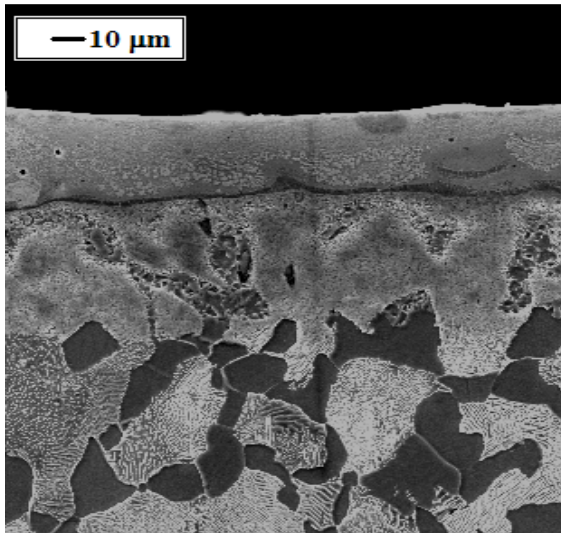
- napięcie: $U = 230\text{V}$,
- pojemność kondensatorów: $C = 300\mu\text{F}$,
- natężenie prądu: $I = 2,2\text{A}$.

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 $d = 0,7\text{mm}$; moc lasera $P = 20\text{W}$; prędkość przemieszczania wiązki $v = 250\text{mm/min}$; odległość dysza-przedmiot obrabiany $\Delta f = 1\text{mm}$; czas impulsu $t_i = 0,4\text{ms}$; częstotliwość powtarzania $f = 50\text{Hz}$; skok przesuwu wiązki $S = 0,4\text{mm}$.

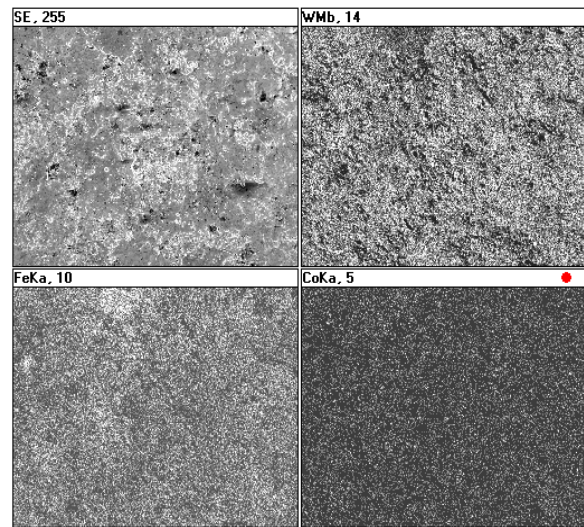
3. ANALIZA MIKROSTRUKTURY

Do obserwacji mikrostruktury powłok WC-Co przed i po obróbce laserowej wykorzystano elektronowy mikroskop skaningowy Joel typ JSM-5400.

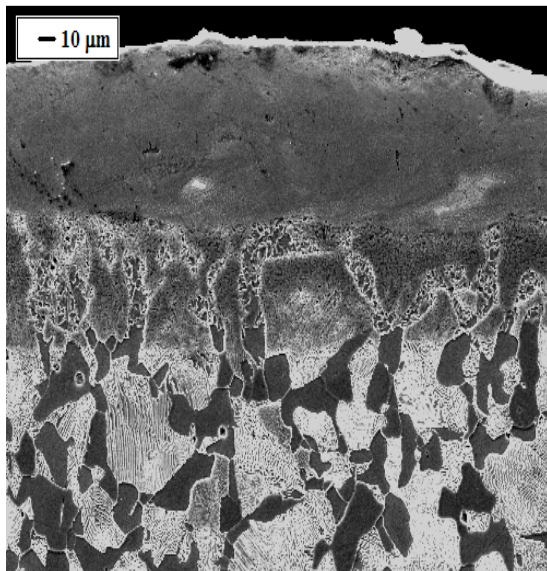
Na fotografii (rys. 1) przedstawiono przykładowy widok mikrostruktury powłoki WC-Co stopowanej elektroiskrowo. W oparciu o uzyskane wyniki stwierdzono, że grubość uzyskanych warstw wyniosła od $30\div 40\mu\text{m}$, natomiast zasięg strefy wpływu ciepła SWC w głąb materiału podłoża ok. $15\div 20\mu\text{m}$. Na fotografii mikrostruktury (rys. 1) widoczna jest wyraźna granica pomiędzy powłoką a podłożem i można zaobserwować niekorzystne zjawiska w postaci porów i mikropęknięć powłoki.



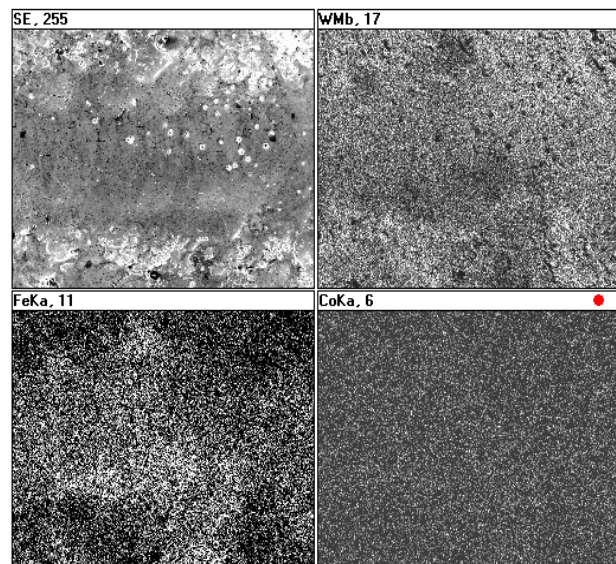
Rys. 1. Mikrostruktura powłoki WC-Co
Fig. 1. Microstructure of the WC-Co coating



Rys. 2. Rozkład powierzchniowy pierwiastków powłoki WC-Co
Fig. 2. Element distribution face map of the WC-Co coating



Rys. 3. Mikrostruktura powłoki WC-Co po obróbce laserowej
Fig. 3. Microstructure of the WC-Co coating after laser treatment



Rys. 4. Rozkład powierzchniowy pierwiastków powłoki WC-Co po obróbce laserowej
Fig. 4. Element distribution face map of the WC-Co coating after laser treatment

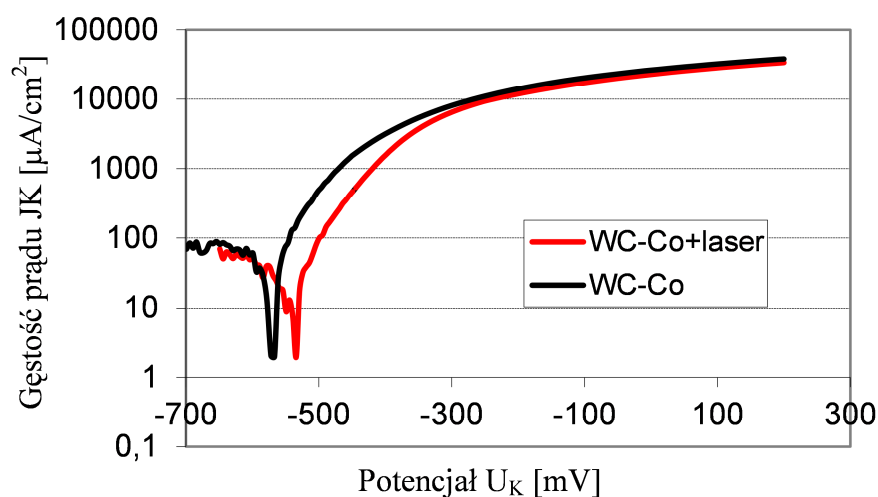
W wyniku modyfikacji wiązką laserową powłoki WC-Co nastąpiło ujednorodnienie jej składu chemicznego. Wytworzone w wyniku przetapiania laserowego technologiczne warstwy powierzchniowe TWP nie posiadają mikropęknięć i porów (rys. 3). Grubość powłoki WC-Co po modyfikacji laserowej uległa zmianie i mieściła się w zakresie 40÷50µm. Zasięg SWC wyniósł w głąb materiału podłoża ok. 30÷40µm.

Przykładowe analizy rozkładu powierzchniowego pierwiastków powłoki WC-Co przed i po obróbce laserowej przedstawiono na rysunku 2 i rys. 4. Na przedstawionych fotografiach ilość pierwiastka jest proporcjonalna do jasności obrazu w analizowanym miejscu. Stopowana elektroiskrowo powłoka (rys. 2) zbudowana jest głównie z atomów wolframu i żelaza (duża liczba jasnych pól) oraz niewielkiej ilości atomów kobaltu.

W wyniku przetapiania laserowego powłoki elektroiskrowej (rys. 4) nastąpiło wystąpienie lokalnie dużej intensywności atomów wolframu i żelaza. Duże zgrupowania atomów wolframu wystąpiły po bokach powstałego śladu przetopu, natomiast duża intensywność jasnych pól żelaza powstała w jego centrum.

4. BADANIA ODPORNOŚCI KOROZYJNEJ

Pomiary odporności korozyjnej zostały przeprowadzone za pomocą skomputeryzowanego zestawu do badań elektrochemicznych Atlas'99 firmy Atlas-Sollich. Pomiary przeprowadzono metodą potencjodynamiczną. Metoda ta należy do najbardziej rozpowszechnionych i nowoczesnych badań elektrochemicznych.



Rys. 5. Krzywe polaryzacji powłoki WC-Co przed i po obróbce laserowej
Fig. 5. Curves of the WC-Co coating polarization before and after laser treatment

Krzywe polaryzacji katodowej i anodowej wykonano polaryzując próbki z szybkością zmian potencjału wynoszącą 0,2mV/s (w obszarze ±200mV od potencjału korozyjnego) oraz 0,4mV/s w obszarze wyższych potencjałów. Próbki z wyodrębnionym obszarem

o średnicy 10mm polaryzowano do potencjału 500mV. Krzywe polaryzacji wykonano po 24 godzinach ekspozycji w testowanym roztworze (3,5% NaCl), w celu ustalenia się potencjału korozyjnego. Badania wykonano w temperaturze pokojowej: $-21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Uzyskane wyniki odporności korozyjnej przedstawiono na wykresie (rys. 5).

Obróbka laserowa polepszyła odporność korozyjną powłok elektroiskrowych w stosunku do powłok bez tej obróbki o około 50 %. Przyczyną tego efektu było uszczelnienie ich w trakcie obróbki laserowej i likwidacja mikropęknięć. W wyniku obróbki laserowej zaobserwowano zmniejszenie prądu korozyjnego z $J_k=62,3\mu\text{A}/\text{cm}^2$ do $J_k=31,7\mu\text{A}/\text{cm}^2$ oraz obniżenie potencjału korozyjnego z $U_k=-560\text{mV}$ do $U_k=-510\text{mV}$.

5. POMIARY CHROPOWATOŚCI

Struktura geometryczna powierzchni wykazuje znaczny wpływ na wiele procesów występujących w warstwie wierzchniej. Problematyce związanej z metodami pomiarów oraz oceną chropowatości i falistości powierzchni poświęconych jest wiele publikacji [13÷14]. Pomiary struktury geometrycznej powierzchni zostały przeprowadzone w Laboratorium Komputerowych Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej. Badania wykonano przy użyciu profilometru optycznego Talysurf CCI.

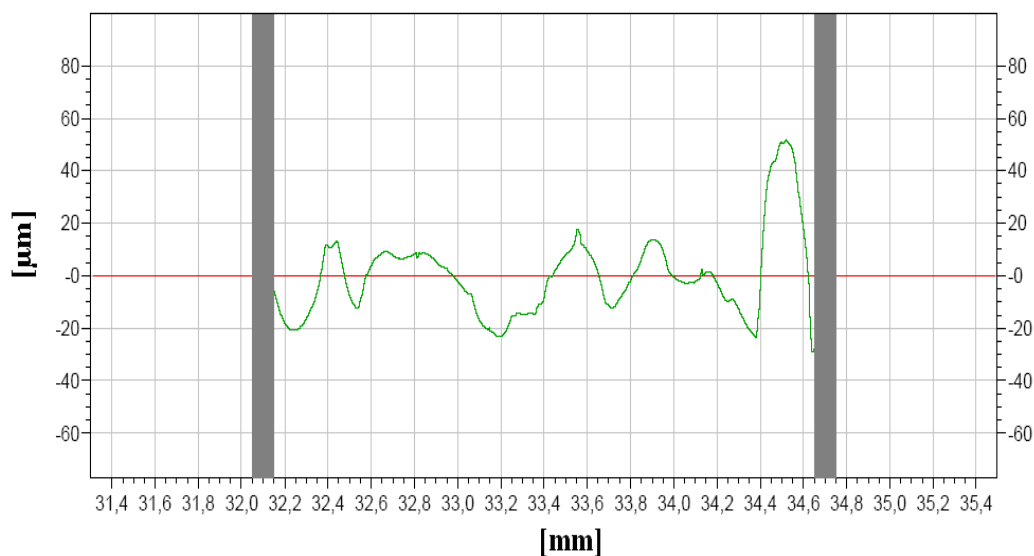
Pomiary chropowatości powłok WC-Co wykonano w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach. Pierwszy pomiar był wykonany zgodnie z ruchem przemieszczania się elektrody, natomiast drugi pomiar był prostopadły do ściegów skanujących. Z dwóch pomiarów obliczono wartość średnią parametru Ra dla danej powłoki.

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.

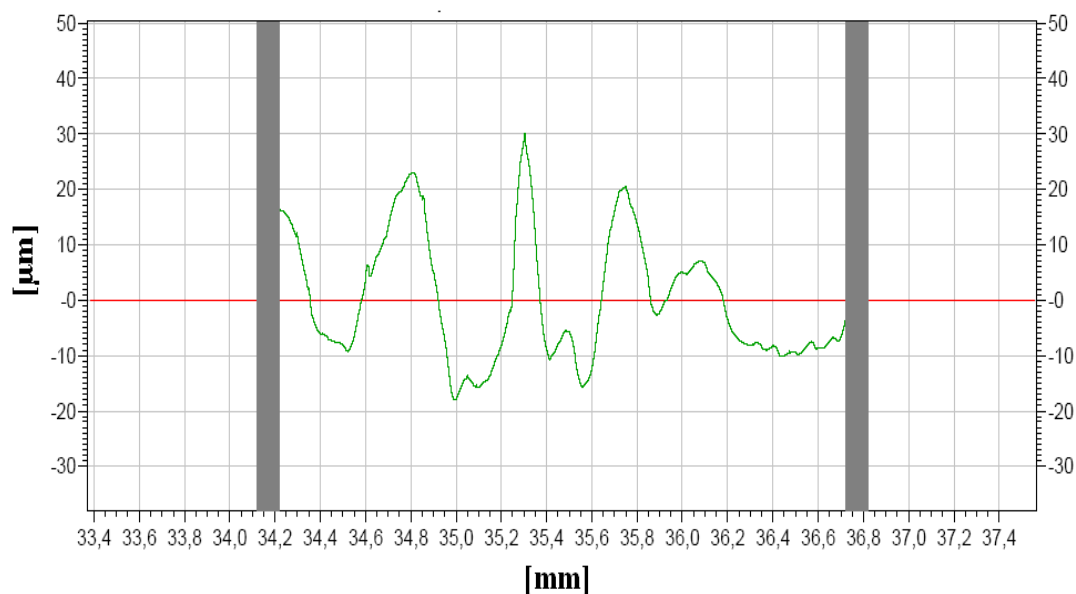
Powłoki WC-Co posiadały chropowatość $Ra=1,35\div 2,01\mu\text{m}$, natomiast po obróbce laserowej chropowatość wynosiła od $3,15\div 4,46\mu\text{m}$. Próbkę ze stali C45, na które nanoszono powłoki miały chropowatość $Ra=0,42\div 0,58\mu\text{m}$. Przykładowe protokoły pomiarów parametrów mikrogeometrii badanych próbek przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

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, co powoduje „wyrzucanie” materiału z centralnego obszaru i powstanie charakterystycznych wypływek na granicy z obszarem nieprzetopionym.



Rys. 6. Przykładowy protokół pomiarów chropowatości dla powłoki WC-Co
Fig. 6. Surface roughness of the WC-Co coating



Rys. 7. Przykładowy protokół pomiarów chropowatości dla powłoki WC-Co po obróbce laserowej
Fig. 7. Surface roughness of the WC-Co coating after laser treatment

6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące spostrzeżenia:

1. Proces tworzenia technologicznych warstw powierzchniowych metodą obróbki elektroiskrowej związany jest z transferem masy i energii oraz zjawiskiem powstania plazmy niskotemperaturowej.

2. W wyniku laserowego przetopienia powłok elektroiskrowych i następującego po nim krzepnięcia otrzymujemy ujednorodnienie składu chemicznego oraz likwidację mikropęknięć i porów w powłoce.
3. W wyniku modyfikacji laserowej uzyskano wzrost odporności korozyjnej powłok elektroiskrowych w stosunku do powłok bez tej obróbki o około 50 %. Ma to istotne znaczenie w przypadku elementów pracujących w środowiskach agresywnych np. pierścienie uszczelnień czołowych pomp wirowych.
4. Powłoki WC-Co po obróbce laserowej charakteryzowały się 2-krotnie większą chropowatością Ra, w stosunku do powłok bez tej obróbki. Jest to zjawisko niekorzystne pod względem jakości i przydatności w określonych warunkach eksploatacyjnych. Należy poszukiwać parametrów obróbki laserowej, przy których nastąpi nadtopienie tylko wierzchołków mikronierówności powłoki (wygładzanie laserowe).
5. Powłoki tego typu zwiększą odporność na zużycie ściernie narzędzi i elementów maszyn.
6. W dalszym etapie należy wykonać badania tribologiczne oraz badania składu fazowego powłok WC-Co przed i po obróbce laserowej.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego N N503 150736

LITERATURA

- [1] GALINOV I. V., LUBAN R. B., 1996, *Mass transfer trends during electrospark alloying*, Surface and Coatings Technology, 79, 9-18.
- [2] ŁAZARENKO B. R. ŁAZARENKO N. I., 1958, *Elektroiskrowaja obrabotka tokoprovodiaszczih materialow*, Akademia Nauk CCCP, Moskwa.
- [3] SPADŁO S., 2006, *Theoretical-experimental aspects of electroerosion-mechanical machining*, Published by Technical University in Kielce, PL ISSN 0239-4979.
- [4] OZIMINA D., RADEK N., STYP-REKOWSKI M., 2004, *Modyfikowanie cech warstwy wierzchniej za pomocą obróbki elektroiskrowej*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 24/2, 229-238.
- [5] SPADŁO S., et al., 2004, *The superficial layer of parts machined by brush electro discharge mechanical machining (BEDMM)*, Journal Engineering Manufacture, 218/part B, 9-15.
- [6] RADEK N., 2009, *Determining the operational properties of steel beaters after electrospark deposition*, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, 4, 10-16.
- [7] RUIJUN W., YIYU Q., JUN L., 2005, *Interface behavior study of WC92-Co8 coating produced by electrospark deposition*, Applied Surface Science, 240, 42-47.
- [8] MIERNIKIEWICZ A., 2000, *Doświadczalno-teoretyczne podstawy obróbki elektroerozyjnej (EDM)*, Politechnika Krakowska – Rozprawy, 274.
- [9] RADEK N., WAJS E., LUCHKA M., 2008, *The WC-Co electrospark alloying coatings modified by laser treatment*, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 47/3-4, 197-201.
- [10] RADEK N., ANTOSZEWSKI B., 2009, *Influence of laser treatment on the properties of electro-spark deposited coatings*, Kovove Materialy-Metallic, Materials, 1, 31-38.
- [11] RADEK N., BARTKOWIAK K., 2010, *Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam*, Physics Procedia (Elsevier), 5, 417-423.
- [12] RADEK N., 2011, *The influence of laser treatment on the microstructure and properties of the tungsten carbide electro-spark coatings*, Advances in Manufacturing Science and Technology, 35/2, 59-71.
- [13] ADAMCZAK S., 2005, *Normalizacja pomiarów struktury geometrycznej powierzchni, Cz.7, Ocena chropowatości i falistości powierzchni*, Mechanik, 5-6, 526-529.

- [14] ADAMCZAK S., 2005, *Normalizacja pomiarów struktury geometrycznej powierzchni, Cz.8, Ocena chropowatości i falistości, Powierzchnie o warstwowych właściwościach funkcjonalnych*. Mechanik, 8-9, 690-692.

INFLUENCE OF LASER TREATMENT ON PROPERTIES OF ANTI-WEAR ELECTRO-SPARK COATINGS

The paper is concerned with determining the influence of the laser treatment process on the properties of electro spark coatings. The properties were assessed after laser treatment by analysing microstructure and measuring the roughness and corrosion resistance. The studies were conducted using WC-Co electrodes produced by the Pulse Plasma Sintering method (PPS) of nanostructural powders. The coatings were deposited by means of the EIL-8A and they were laser treated with the Nd:YAG, BLS 720 model.