

Norbert Radek, Bogdan Antoszewski*

BADANIA EKSPLOATACYJNE POWŁOK WĘGLIKOWO-CERAMICZNYCH PRZED I PO OBRÓBCE LASEROWEJ

Streszczenie: W pracy badano wpływ obróbki laserowej na właściwości powłok nanoszonych elektroiskrowo. Ocenę właściwości powłok po obróbce laserowej przeprowadzono na podstawie obserwacji mikrostruktury, pomiarach twardości i chropowatości oraz badań tribologicznych. Badania przeprowadzono wykorzystując elektrody WC-Co-Al₂O₃-3TiO₂, które zostały wytworzone poprzez spiekanie nanostrukturalnych proszków, a następnie przetapiane wiązką laserową. Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenia EIL-8A. Obróbkę laserową nałożonych powłok elektroiskrowych wykonano laserem Nd:YAG. Obrobione laserowo powłoki elektroiskrowe WC-Co-Al₂O₃-3TiO₂ charakteryzują się mniejszą twardością i współczynnikiem tarcia oraz większą chropowatością. Ponadto obróbka laserowa spowodowała likwidację porów i mikropęknięć powłok naniesionych obróbką elektroiskrową. Powłoki tego typu mogą być stosowane w ślizgowych węzłach tarcia oraz jako powłoki ochronne.

Słowa kluczowe: obróbka elektroiskrowa, obróbka laserowa, powłoka

Wstęp

Jedną z tanich i dobrze znanych metod nanoszenia powłok jest obróbka elektroiskrowa, która podobnie jak obróbka laserowa wykorzystuje skoncentrowany strumień energii [6].

Obróbka elektroiskrowa powstała w latach czterdziestych w ZSRR, prawie równocześnie z ubytkową obróbką elektroerozyjną. Zaczęto ją intensywnie rozwijać w latach sześćdziesiątych, a w latach siedemdziesiątych dość powszechnie używać do nanoszenia trudno topliwych materiałów na metale i ich stopy, głównie na stale. W Polsce zaczęto interesować się nanoszeniem powłok elektroiskrowych na początku lat osiemdziesiątych. Współcześnie stosowane są różne odmiany obróbki elektroiskrowej spełniające zadania wytwarzania powłok, a także kształtowania mikrogeometrii powierzchni [2, 3, 7, 8].

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 [5]:

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

Współczesne zastosowania przemysłowe obróbki elektroiskrowej obejmują następujące dziedziny: przemysł motoryzacyjny, przemysł kosmiczny, przemysł lotniczy, przemysł

* Centrum Laserowych Technologii Metali, Politechnika Świętokrzyska, norrad@tu.kielce.pl, ktrba@tu.kielce.pl

okrętowy, przemysł zbrojeniowy, przemysł energetyczny, mechanika precyzyjna, produkcja narzędzi oraz medycyna.

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 [1, 4]. 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 [4]. Alternatywną metodą, którą można eliminować wady powłok elektroiskrowych jest ich obróbka laserowa [9÷13].

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

1. Materiały i parametry obróbki

Przedmiotem badań były powłoki nakładane elektrodą WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ (85% WC, 10% Co oraz 5% Al₂O₃3TiO₂) o przekroju 3 x 4 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

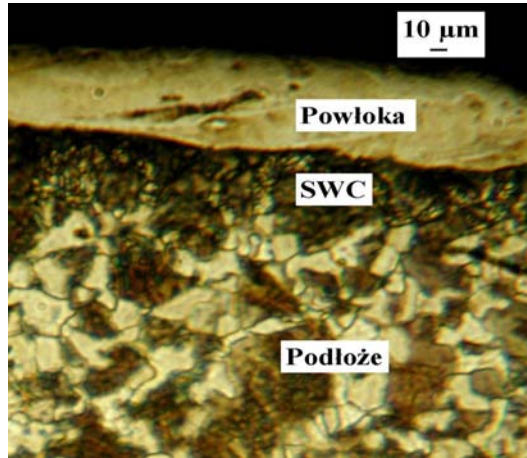
Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenie (o ręcznym przesuwie elektrody) produkcji ukraińskiej, model EIL-8A. Opierając się na doświadczeniach własnych oraz zaleceniach producenta urządzenia przyjęto następujące parametry nanoszenia powłok elektroiskrowych: napięcie $U = 230$ V, pojemność kondensatorów $C = 300$ μ F, natężenie prądu $I = 2,4$ 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 $P = 20$ W; prędkość przemieszczania wiązki $v = 250$ mm/min; odległość dysza-przedmiot obrabiany $\Delta f = 1$ mm; czas trwania impulsu $t_1 = 0,4$ ms; częstotliwość powtarzania $f = 50$ Hz; skok przesuwu wiązki $S = 0,4$ mm.

2. Wyniki badań

2.1. Analiza morfologii powłok

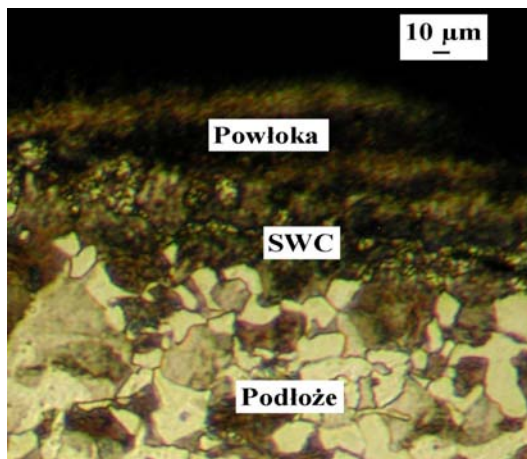
Analizie mikrostruktury poddano powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ przed i po obróbce laserowej. Do badań mikrostruktury wykorzystano mikroskop optyczny NEOPHOT 2.



Rys. 1. Mikrostruktura powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂

Na przykładowej fotografii (rys. 1) przedstawiono przykładowy widok mikrostruktury powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ naniesionej obróbką elektroiskrową. W oparciu o uzyskane wyniki stwierdzono, że grubość uzyskanych warstw wyniosła od 55÷60 μm, natomiast zasięg strefy wpływu ciepła (SWC) w głąb materiału podłoża ok. 30÷40 μm. Na przedstawionej fotografii mikrostruktury widoczna jest wyraźna granica pomiędzy powłoką, a podłożem. Można zaobserwować niekorzystne zjawiska w postaci porów i mikropęknięć powłoki.

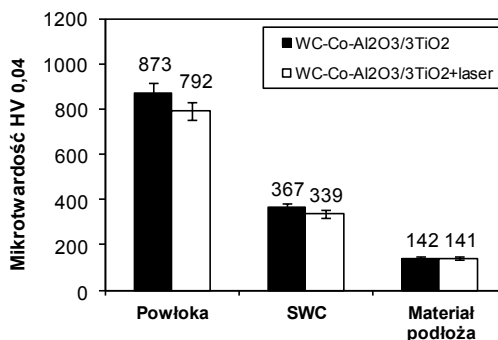
W wyniku modyfikacji wiązką laserową powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ nastąpiło ujednorodnienie składu chemicznego powłoki [9]. Powłoka w wyniku przetapiania laserowego została pozbawiona mikropęknięć i porów (rys. 2). Grubość powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ po modyfikacji laserowej uległa zmianie i mieściła się w zakresie 80÷100 μm. Zasięg SWC wyniósł w głąb materiału podłoża ok. 45÷60 μm.



Rys. 2. Mikrostruktura powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ po obróbce laserowej

2.2. Pomiary mikrotwardości

Pomiary mikrotwardości wykonano metodą Vickersa, stosując obciążenie 0,4 N. Odciski penetratorem wykonano na zglądach prostopadłych w trzech strefach: w powłoce, strefie wpływu ciepła (SWC) oraz materiale rodzimym. Wyniki pomiarów mikrotwardości dla powłok elektroiskrowych WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ przed i po obróbce laserowej przedstawiono na wykresie (rys. 3).



Rys. 3. Wyniki pomiarów mikrotwardości

Zastosowanie obróbki elektroiskrowej spowodowało zmiany mikrotwardości w obrabianym materiale. Mikrotwardość materiału podłoża po obróbce elektroiskrowej wynosiła średnio około 141 HV_{0,04} (taka samą wartość mikrotwardości miał materiał w stanie wyjściowym). Powłoka WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ posiadała średnią mikrotwardość 873 HV_{0,04} (nastąpił wzrost mikrotwardości średnio o 515 % w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża). Mikrotwardość SWC po obróbce elektroiskrowej wzrosła o 161 % w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża.

Zastosowanie obróbki laserowej obniżyło nieznacznie mikrotwardość powłok elektroiskrowych. Naświetlanie laserowe spowodowało spadek mikrotwardości powłok WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ o 10 % 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.

2.3. Pomiary chropowatości

Pomiary chropowatości przeprowadzono w Laboratorium Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej za pomocą przyrządu topo L120 przy wykorzystaniu programu PROFILOMETR.

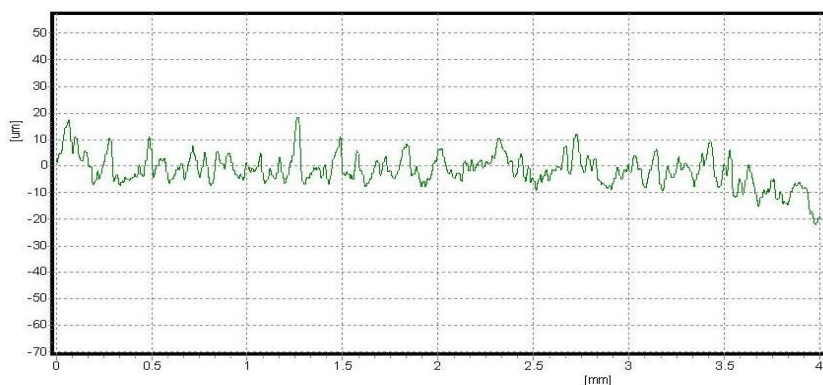
Pomiary chropowatości powłok WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ wykonano w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach. Pierwszy pomiar był wykonany zgodnie z ruchem przemieszczania się

elektrody, natomiast drugi pomiar był prostopadły do ściegów skanujących. Z dwóch pomiarów obliczono wartość średnią parametru Ra dla danej powłoki.

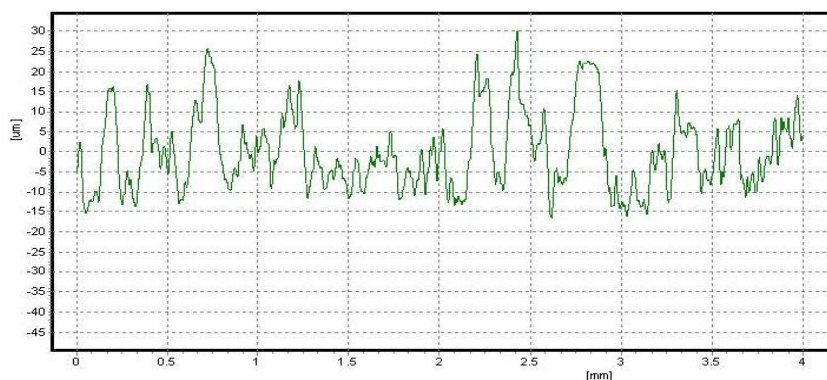
Pomiary powłok WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ obróbnymi laserem wykonano w kierunku prostopadłym i równoległym do osi ścieżek wykonanych wiązką laserową, a następnie obliczono wartość średnią chropowatości dla danej powłoki. W większości prac podawane są wyniki pomiarów chropowatości dla profili mierzonych wzdłuż 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-Al₂O₃3TiO₂ posiadały chropowatość Ra = 4,18÷4,58 μm, natomiast po obróbce laserowej chropowatość wynosiła od 9,65÷11,79 μm. Próbki ze stali C45, na które nanoszono powłoki miały chropowatość Ra = 0,40÷0,45 μm.

Przykładowe protokoły pomiarów parametrów mikrogeometrii badanych próbek przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Przykładowe wyniki pomiarów parametrów mikrogeometrii dla powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂



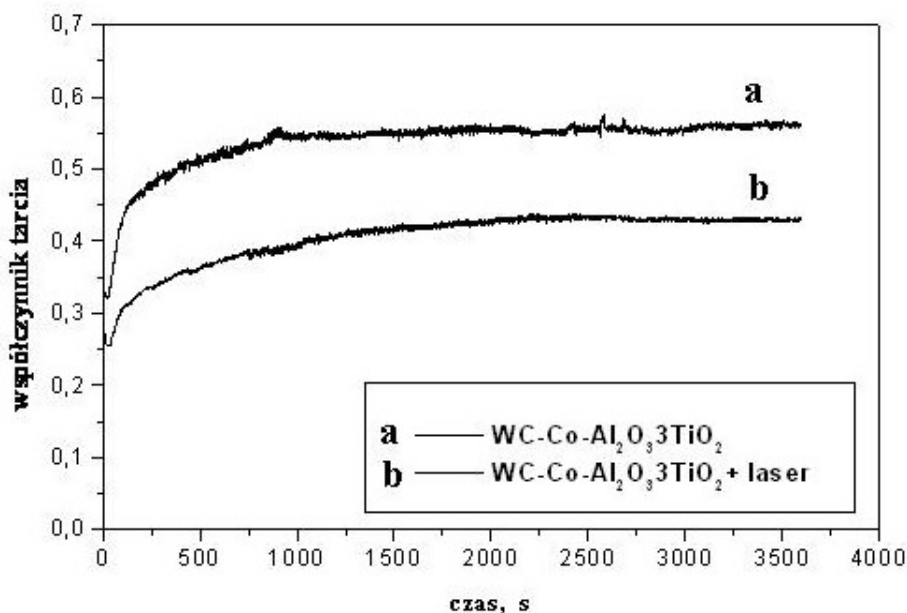
Rys. 5. Przykładowe wyniki pomiarów parametrów mikrogeometrii dla powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ po obróbce laserowej

2.4. Badania tribologiczne

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-Co-Al₂O₃3TiO₂ (przed i po obróbce laserowej). Przeciwpóbką 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.



Rys. 6. Wykres zmian współczynnika tarcia w funkcji czasu: a) powłoka WC-Co-Al₂O₃3TiO₂, b) powłoka WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ po obróbce laserowej

Wyniki badań przedstawiono na wykresie (rys. 6), który ilustruje przebiegi współczynnika tarcia w funkcji czasu próby przy obciążeniu 14,7 N.

Na przebiegu (rys. 6a) dotyczącym powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ można zaobserwować, że stabilizacja współczynnika tarcia następuje po upływie około 1000 sekund, a wartość jego oscyluje na poziomie 0,55÷0,57. W przypadku powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ po modyfikacji laserowej (rys. 6b) stabilizacja współczynnika tarcia następuje po upływie 2000 sekund, a wartość jego oscyluje na poziomie 0,43÷0,44. Średni współczynnik tarcia powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ jest około 23 % większy od współczynnika tarcia powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ po naświetlaniu laserowym (w momencie ich stabilizacji). Główną przyczyną tego efektu jest likwidacja wad powłoki (mikropęknięć oraz porów) po obróbce laserowej.

3. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych wstępnych badań można sformułować następujące wnioski:

1. W wyniku laserowego przetopienia powłok elektroiskrowych i następującego po nim krzepnięcia otrzymujemy likwidację mikropęknięć i porów w powłoce.
2. Chropowatość powłok elektroiskrowych po obróbce laserowej jest większa dwukrotnie w stosunku do chropowatości 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 (wyglądanie laserowe).
3. Podczas badań tribologicznych uzyskany średni współczynnik tarcia powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ jest około 23 % większy od współczynnika tarcia powłoki WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ po modyfikacji laserowej (w momencie ich stabilizacji).
4. W wyniku modyfikacji laserowej powłok elektroiskrowych nastąpiło obniżenie mikro-twardości powłok WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ o 10 % w odniesieniu do tych powłok bez obróbki laserowej.
5. W dalszym etapie badań za konieczne wydaje się wykonanie pomiarów naprężeń własnych oraz badań analizy fazowej powłok elektroiskrowych przed i po obróbce laserowej.

Literatura

1. Burakowski T., Chałko L.: Badania wpływu parametrów nanoszenia elektroiskrowego na wybrane właściwości powłok W-Co na stali SW7M. Inżynieria Materiałowa 5 (2002) 404-406.
2. Chen Z., Zhou Y.: Surface modification of resistance welding electrode by electro-spark deposited composite coatings: Part I. Coating characterization. Surface and Coatings Technology 201 (2006) 1503-1510.
3. 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, 601-610.
4. Michajłuk A. I.: Umienszienie szierochowatosti eliektroiskrowych pokrytij pri posliedujuszcziej obrabotkie grafitowym eliektrodom. Elektronnaja Obrabotka Materialow 3 (2003) 21-27.
5. Miernikiewicz A.: Doświadczalno-teoretyczne podstawy obróbki elektroerozyjnej (EDM). Politechnika Krakowska, Rozprawy, 274, Kraków.
6. Oczó K.: Kształtowanie materiałów skoncentrowanymi strumieniami energii. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1988.
7. Praca zbiorowa pod redakcją Petrowa J.: Elektroiskrowoje legirowanie metalličieskich powierzchnostoj. Kisziniew 1985.
8. Radek N.: Determining the operational properties of steel beaters after electrospark deposition. Maintenance and Reliability 4 (2009) 10-16.

9. Radek N.: Laser treatment of electro-spark WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ coatings. Proc. Inter. Conf. Nekonvenčne Technologie – NT'10, Strecno 2010, 1-7.
10. Radek N., Antoszewski B.: Influence of laser treatment on the properties of electro-spark deposited coatings. Kovove Materialy-Metallic Materials 1 (2009) 31-38.
11. Radek N., Bartkowiak K.: Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam. Physics Procedia, 5 (2010) 417-423.
12. Radek N., Szalapko J.: Tribological properties of electro spark molybdenum coatings after laser treatment. Problems of Tribology 1 (2006) 76-81.
13. Radek N., Wajs E., Luchka M.: The WC-Co electrospark alloying coatings modified by laser treatment. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 47, No. 3-4 (2008) 197-201.

DETERMINING THE OPERATIONAL PROPERTIES OF ELECTRO-SPARK DEPOSITED TUNGSTEN CARBIDE-CERAMIC COATINGS BEFORE AND AFTER LASER TREATMENT

Summary. The aim of the study was to determine the influence of the laser treatment process on the properties of electro-spark coatings. The properties of the coatings after laser treatment were assessed based on following methods: microstructure analysis, roughness measurement, hardness tests and tribological studies. The studies were conducted using WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ electrodes produced by sintering nanostructural powders and molten with a laser beam. The coatings were deposited by means of the EIL-8A and they were laser treated with the Nd:YAG. The tests show that the laser-treated electro-spark deposited WC-Co-Al₂O₃3TiO₂ coatings are characterized by lower hardness and friction coefficient, higher roughness. The laser treatment process causes the structure refinement and the healing of microcracks and pores of the electro-spark deposited coatings. Laser treated electro-spark deposited coatings are likely to be applied in sliding friction pairs and as protective coatings.

Key words: electro spark alloying, laser treatment, coating

Praca wykonana w ramach projektu badawczego N N503 150736.